

Od dob, kdy vznikala radiotechnika, „vznikali“ současně také radioamatéři. Tím se stalo, že se v prvopočátcích nelišilo provedení profesionálních přístrojů a zařízení od amatérských výrobků. Amatérské výrobky se mohly snadno přiblížit „profesionálnímu vzhledu“. Postupem času se potom začal objevovat rozdíl, a to zhruba ze dvou důvodů.

Ze spodní strany se potom jednotlivé součástky propojovaly drátem a drobné součástky, jako odpory a kondenzátory, se připojovaly přímo mezi vývody, např. elektronek apod. Tento způsob používali i amatéři a pečlivým zhotovením šasi se pořád mohli přiblížit továrnímu vzhledu výrobků.

Kolem roku 1950 se začalo rychlým

Amatérské

KONSTRUKCE

Popularizací radiotechniky a radiotechnických výrobků se zvětšoval odbyt radiotechnických výrobků a bylo možné vyrábět stále větší a větší série. Velké série umožňují použít při výrobě mechanizaci, složitější přípravky a současně vyvolávají snahu o co nejlepší vzhled a uspořádání přístroje. Zrychluje se vývoj a přicházejí ke slovu technologie, které jsou amatérsky nenapodobitelné; amatéři je proto musí ve svých konstrukcích obcházet a rozdíl mezi amatérskými a profesionálními přístroji se zvětšuje.

Přibližně do roku 1950 (u nás asi do roku 1957) se většina elektronických přístrojů a zařízení konstruovala klasickým způsobem – tj. na mechanickém šasi, na němž byly upevněny všechny větší součástky jako transformátory, tlumivky, vyhlazovací elektrolytické kondenzátory, elektrony, potenciometry apod.

tempem rozšiřovat používání tranzistorů a přibližně ve stejnou dobu přišly ke slovu plošné spoje. Objevily se nezávisle na tranzistorech, i když se velmi brzy hlavně díky tranzistorům jejich používání rozmohlo. Plošné spoje se začaly používat do stávajících elektronkových zařízení. Zlepšila se tím možnost mechanizace, vzhled vnitřního uspořádání přístrojů a z dnešního hlediska i přehlednost, i když v zahraničních časopisech z těchto let se dočtete, že „tzv. tištěné spoje jsou džunglí, ve které se i zkušený odborník velmi těžko vyzná...“. Díky již zmíněnému rozšíření tranzistorů a ostatních polovodičových prvků, pro které byl klasický způsob konstrukce na kovové šasi naprosto nevhodný, rozšířily se plošné spoje v radiotechnice natolik, že se v dnešní době snad nenajde přístroj, kde by nebyly použity. Na začátku

to znamenalo zdánlivě nepřekonatelné zvětšení rozdílu mezi amatérskými a továrními konstrukcemi. Několik let (téměř deset), byly plošné spoje svojí technologií a hlavně potřebným základním materiálem pro amatéry nedostupné a setrvalo se proto u „starých“ konstrukcí na šasi.

Nyní (po deseti letech) používají plošné spoje již i amatéři. Získali tím opět možnost přiblížit se konstrukčním provedením svých přístrojů výrobkům, které vycházejí ze sériové výroby; a to bylo, je a bude vždy snahou většiny radioamatérů. Plošné spoje pomohly i částečně popularizovat radiotechniku. Ke stavbě jakéhokoli přístroje klasickým způsobem, kde bylo nutné volit vhodné rozmístění součástek, spojovat je a nedopustit se přitom chyby, zhotovit kovové šasi, velké otvory do něj atd., bylo zapotřebí mít poměrně dost zkušeností i dobré mechanické vybavení. Stavět složitější přístroje mohl proto jenom zkušenější technik a mnohé zájemce náročnost předem odradila. Existence plošných spojů umožnila i těm nezkušeným postavit např. tranzistorový přijímač, protože si koupili nebo udělali podle návodu destičku s plošnými spoji, podle

nákresu do ní „nasázeli“ součástky a on jim to (někdy) hrálo. Z nástrojů stačí ke stavbě vrtačka a páječka. Kromě toho má hotový přístroj slušný vzhled, protože prakticky ani úplný začátečník na něm nemůže nic pokazit; vzhled je dán navrženým obrazcem plošných spojů. Proto si plošné spoje získaly mezi radioamatéry v krátké době tak velkou popularitu.

Naskýtá se nyní jenom otázka, co bude dál. Průmyslová elektronika si mezi tím, co se radioamatéři zabývají plošnými spoji, vynášla několik nových technologií, jako je např. technologie integrovaných obvodů, nejdříve plošných a potom tuhé fáze. V současné době se nám jistě všem zdá, že je to hranice, přes kterou se radioamatéři nemohou dostat. Málokdo si asi dovede představit radioamatéra, který si doma na kuchyňském stole vyrábí zesilovač z krystalů křemíku, uhlíku a několika dalších nečistot, jako je např. indium či kobalt. To vše pod mikroskopem a pokud možno za vyšších teplot okolo 1 200 °C. Čili je to hranice. Ale to si jistě většina amatérů myslela při vzniku plošných spojů také. Takže se snad někdy shledáme nad Radiovým konstruktérem s nadpisem „Amatérská výroba integrovaných obvodů“.

PLOŠNÉ

SPOJE

(Ing. J. Vondráček a kolektiv RK Smaragd)

O významu plošných spojů v současné radiotechnice a elektronice vůbec není nutné mnoho psát; je neustále dokládán jejich praktickým využíváním ve všech elektrotechnických oborech. Několik posledních let bylo obdobím, kdy se používání plošných spojů velmi rozšířilo i mezi radioamatéry. Došlo k tomu jednak proto, že se na trh dostal základní materiál – cuprextit, popř. cuprexcart – a amatéři mohli začít uvažovat nad vlastní technologií pro vytvo-

ření plošných spojů, jednak zásluhou několika drobných výrobců, kteří začali vyrábět plošné spoje speciálně pro radioamatéry. Nepřímou zásluhu na rozšíření plošných spojů má samozřejmě také zlevnění a rozšíření polovodičových součástek do amatérských konstrukcí, protože starý způsob konstrukce přístrojů přestal vyhovovat.

Protože u nás zatím nevyšlo mnoho publikací, které by populárním způsobem a z praktického hlediska seznámily

řadové radioamatéry se způsoby výroby plošných spojů od jejich návrhu až po praktické zhotovení, rozhodli jsme se udělat to prostřednictvím Radiového konstruktéra. Radioklub Smaragd se zabývá výrobou plošných spojů již přes tři roky. Některé teoretické základy návrhu a výroby plošných spojů jsme proto mohli doplnit vlastními zkušenostmi, které jsme za tyto roky získali. Každopádně nejde a nemůže jít o publikaci vyčerpávající; jde o to seznámit čtenáře se způsobem návrhu obrazce plošných spojů a se způsoby praktické výroby destiček s plošnými spoji.

V úvodní části jsou popsány některé vlastnosti plošných spojů, jako je zatížitelnost, kapacita apod., které musíme brát v úvahu při návrhu spojového obrazce. Je uveden stručný přehled součástek, nejčastěji používaných do plošných spojů. Potom následuje výčet základních zásad dodržovaných při návrhu obrazce a popis jednotlivých soustav plošných spojů včetně ukázek.

V další, nejobsažnější kapitole je probrána výroba destiček s plošnými spoji. Je uveden přehled všech používaných způsobů, podrobný popis fotografického a sítotiskového způsobu a odleptávání měděné fólie. Následuje popis jednoduchých způsobů výroby destiček s plošnými spoji, použitelných v amatérské praxi při výrobě prototypu nebo jediného kusu. Kapitolu uzavírá receptář všech chemických roztoků a směsí, o nichž se v kapitole hovořilo.

Po této kapitole následuje výčet zásad pro osazování destiček s plošnými spoji součástkami.

Další kapitolu tvoří praktický příklad návrhu plošných spojů pro nízkofrekvenční zesilovač, vycházející ze zadaného schématu a končící výrobou navržené destičky s plošnými spoji. Jsou uvedeny všechny tři způsoby úpravy spojového obrazce.

Na závěr najdete v tomto čísle RK seznam všech destiček s plošnými spoji, které vyrábí a dodává radioklub Smaragd pro všechny zájemce.

Přejeme vám mnoho úspěchů v ná-

vrhu plošných spojů pro vaše vlastní konstrukce a doufáme, že se s popisem těchto konstrukcí shledáme brzy na stránkách Amatérského radia nebo Radiového konstruktéra.

Návrh obrazce plošných spojů

V této části se seznámíme s těmi vlastnostmi plošných spojů, na něž se musí brát zřetel při návrhu tvaru jednotlivých spojů a jejich celého seskupení. Je to proudová zatížitelnost spojů a kapacita spojů mezi sebou a proti jiným vodivým plochám nebo součástkám. V případě, že chceme vytvořit vinutí cívky přímo na destičce s plošnými spoji (ve tvaru spirály), vypočteme přibližně indukčnost cívky podle pokynů v dalším textu. Popíšeme si i některé nejčastěji používané součástky, jejich výhody a nevýhody při montáži do plošných spojů a uvedeme jejich mechanické rozměry. Je tím zachován logický sled návrhu plošných spojů, neboť je výhodné a většinou i nutné mít pohromadě všechny součástky pro zvolené zapojení dříve, než přistoupíme k návrhu plošných spojů. Potom následuje postup návrhu spojového obrazce s popisem jednotlivých systémů plošných spojů a s hlavními zásadami pro rozmísťování jednotlivých součástek a konečně příklad zhotovení definitivního obrazce. Tato část tedy obsahuje první, „papírovou“ fázi výroby plošných spojů.

Zatížitelnost plošných spojů

Dokud se používala ve výrobě plošných spojů tzv. soustava spojových čar, tj. tenkých spojů, které nahrazovaly dřívější drátové spoje, měla zatížitelnost spojů mnohem větší význam, než nyní, kdy se převážná část destiček s plošnými spoji vyrábí soustavou dělicích čar. V této soustavě nemá spoj v celém svém průběhu přesně definovaný

průřez a nelze tudíž jeho zatížení přesně vyjádřit. Obecně lze říci, že plošné spoje lze zatěžovat mnohem většími proudy než drátové spoje odpovídajícího průřezu. Je to dáno mnohem větší ochlazovací plochou plošného spoje při stejném průřezu. Vezměme jako příklad plošný spoj, vytvořený měděnou fólií tloušťky 35 μm , široký 10 mm a dlouhý 100 mm. Jeho průřez je 0,35 mm^2 a plocha, která může vyzařovat teplo je $2 \times 10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} = 2000 \text{ mm}^2$. Průřezu 0,35 mm^2 odpovídá drát o průměru 0,67 mm a tomuto průměru odpovídá při délce 100 mm plocha 210 mm^2 . Z tohoto srovnání plyne, že ochlazovaná plocha plošného spoje je přibližně 10krát větší než u běžného drátového spoje.

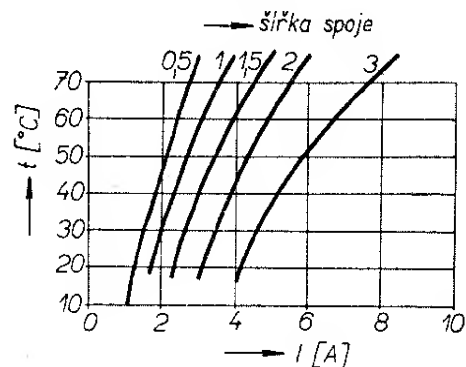
Zatížitelnost plošných spojů závisí jednak na tloušťce měděné fólie, z níž jsou plošné spoje zhotoveny, jednak na izolantu, z něhož je zhotovena základní deska (přesněji řečeno na jeho tepelné vodivosti, protože celá jedna strana plošného spoje odvádí teplo právě do tohoto izolantu). Dále je třeba uvažovat i umístění spoje, možnost přístupu vzduchu k němu, hustotu spojů a konečně i rozmístění ostatních zdrojů tepla v okolí spoje.

Pokusně bylo např. zjištěno, že plošný spoj šířky 1,5 mm a tloušťky 50 μm se proudem 2 A ohřeje z 20 $^{\circ}\text{C}$ na 30 $^{\circ}\text{C}$ a proudem 5 A na 120 $^{\circ}\text{C}$. Tabulka závislosti mezního proudu (při němž se spoj přetaví), dovoleného trvalého proudu a odporu na šířce spoje při tloušťce fólie 35 μm (naše materiály) je v tab. 1.

Tab. 1. Závislost mezního proudu, dovoleného proudu a odporu na šířce spoje

Šířka spoje [mm]	Mezní proud [A]	Dovolený proud [A]	Odpor [Ω/cm]
1	5	0,8	0,004 8
1,5	10	1,2	0,003 2
2	12	1,6	0,002 4
3	15	2,4	0,001 6
6	23	4,8	0,000 8

Graf oteplení plošného spoje v závislosti na protékajícím proudu při různých šířkách spoje je na obr. 1.



Obr. 1. Graf závislosti oteplení plošného spoje na protékajícím proudu

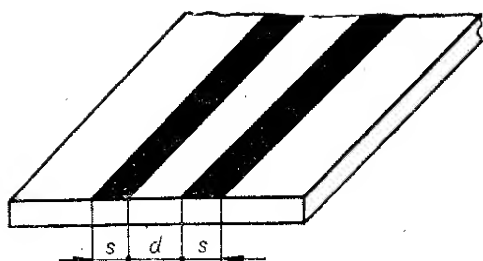
Při amatérské praxi se málokdy stane, že by se musel brát zřetel na zatížitelnost plošných spojů. Jak je zřejmé z tab. 1, spoj o šířce 1 mm lze zatížit trvalým proudem téměř 1 A – a v amatérské praxi se málokdy takové proudy vyskytují. Největší zatížení se mohou vyskytnout u plošných spojů, přivádějících žhavicí napětí k elektronkám; žhavicí proud koncových elektronek bývá asi 1 A. Znamená to tedy použít pro vlastní klid spoj šířky 2 mm – ten se potom pravděpodobně ani neohřeje.

Kapacita plošných spojů

U vysokofrekvenčních obvodů se může škodlivě projevit i vlastní kapacita plošných spojů, neboť mohou vzniknout nežádoucí parazitní vazby. U těchto obvodů je třeba kontrolovat i vzdálenost destičky s plošnými spoji od jiných vodivých ploch – rovněž vzhledem k možným nežádoucím kapacitám. Přichází v úvahu asi pět možností vzniku různých nežádoucích kapacit:

1. *Kapacita mezi dvěma paralelními vodiči*, umístěnými na stejné straně destičky je jeden z nejčastějších případů; vyskytuje se mnohokrát na každé destičce s plošnými spoji (obr. 2). Vzájemnou kapacitu dvou spojů lze určit ze vztahu

$$C = 8,85 \epsilon K_1,$$

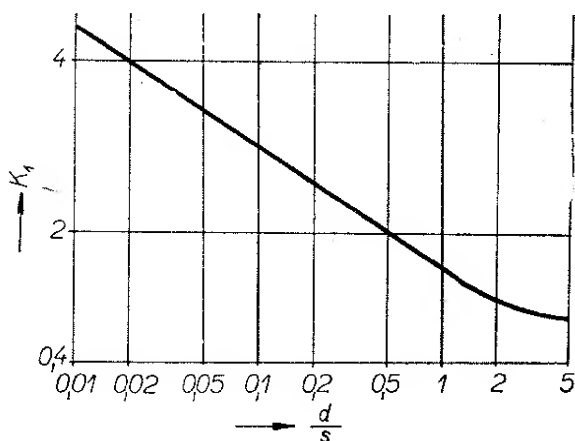


Obr. 2. Vzájemná kapacita dvou rovnoběžných stejně širokých vodičů na jedné straně destičky

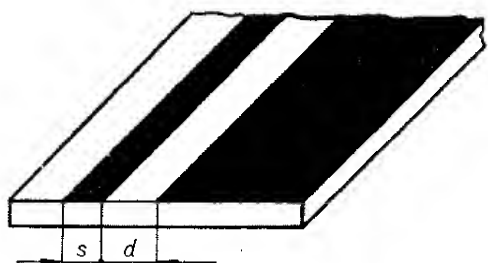
kde ε je permitivita (dielektrická konstanta), určená jako střední aritmetický průměr mezi permitivitou vzduchu ($= 1$) a permitivitou použitého izolantu ε_i :

$$\varepsilon = \frac{1 + \varepsilon_i}{2},$$

K_1 konstanta závislá na rozměrech vodičů a jejich vzájemné vzdálenosti; určí se z grafu na obr. 3.



Obr. 3. Graf k určení konstanty K_1



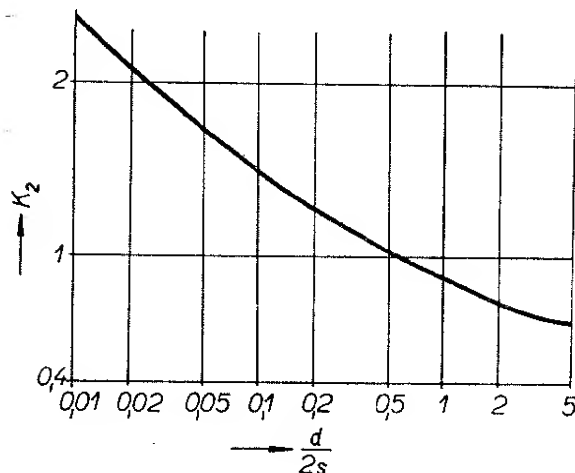
Obr. 4. Vzájemná kapacita mezi vodičem a souvislou plochou na téže straně destičky

Kapacita C , vypočítaná podle uvedeného vztahu bude v jednotkách pF/m.

2. Kapacita mezi vodičem a vodivou plochou na téže straně destičky je případ, znázorněný na obr. 4. Kapacita se určí ze vztahu

$$C = 17,7 \varepsilon K_2$$

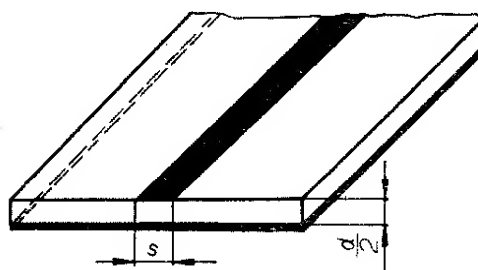
kde ε se určí stejně jako v předchozím případě a konstanta K_2 se přečte v závislosti na rozměrech z grafu na obr. 5.



Obr. 5. Graf k určení konstanty K_2

3. Kapacita mezi vodiči stejné šířky umístěnými na protějších stranách izolační destičky je dalším druhem nežádoucí kapacity (obr. 6). Tuto kapacitu – za předpokladu, že šířka vodičů je podstatně větší než tloušťka destičky – lze vypočítat stejně jako kapacitu deskového kondenzátoru:

$$C = 8,85 \cdot 10^{-8} \frac{\varepsilon S}{d},$$



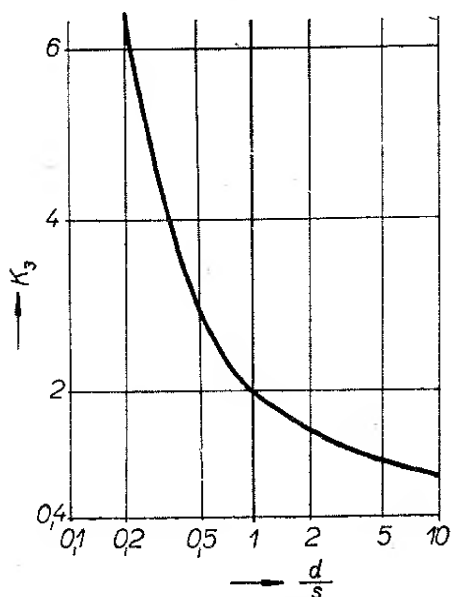
Obr. 6. Vzájemná kapacita dvou stejně širokých vodičů položených proti sobě na protějších stranách destičky

kde S je překrývající se plocha spojů a d jejich vzdálenost;
 ε je permitivita (dielektrická konstanta) použitého izolantu.

Jinak lze stanovit tuto kapacitu z upraveného vzorce

$$C = 8,85 \frac{\varepsilon}{K_3}.$$

Konstantu K_3 zjistíme z grafu na obr. 7.



Obr. 7. Graf k určení konstanty K_3

4. Další možnou parazitní kapacitou je kapacita vodiče, proti němuž je na protilehlé straně destičky umístěna větší vodivá plocha. Tento případ je znázorněn na obr. 8. Kapacita se určí ze vztahu $C = 17,7 \varepsilon K_1$,

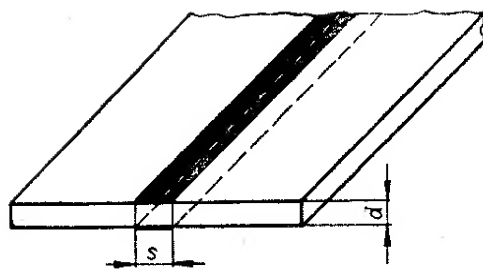
když ε i K_1 zjistíme stejně jako v prvním případě.

Je-li vodivá plocha umístěna rovnoběžně s plošným spojem na téže straně destičky (obr. 9), vypočítáme vzájemnou kapacitu spoje a protilehlé plochy ze vztahu

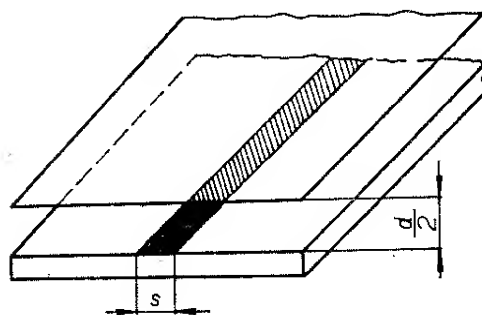
$$C = 17,7 \frac{\varepsilon}{K_3}.$$

5. Posledním druhem možné parazitní kapacity je kapacita mezi plošným spojem a kolmou vodivou plochou. Pro tento případ (obr. 10) lze použít k výpočtu kapacity vztah

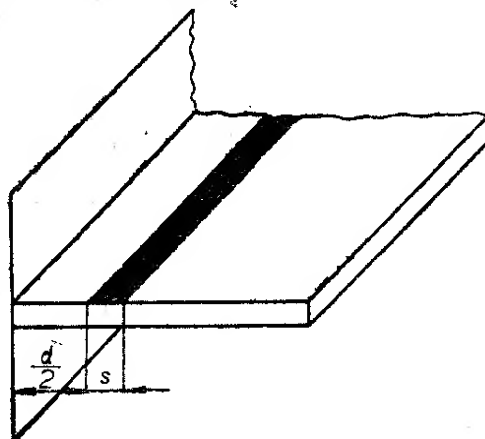
$$C = 17,7 \varepsilon K_1,$$



Obr. 8. Vzájemná kapacita vodiče a souvislé plochy na protější straně destičky



Obr. 9. Vzájemná kapacita vodiče a vodivé plochy, oddělené vzduchovou mezerou



Obr. 10. Vzájemná kapacita vodiče a kolmé souvislé plochy

přičemž ε i K_1 zjistíme stejným způsobem jako v prvním případě.

Při praktickém návrhu plošných spojů bereme na tyto parazitní kapacity zřetel pouze v těch případech, navrhujeme-li nějaký obvod pracující na VKV, nebo jsme-li donuceni udělat dva spoje velmi těsně u sebe (rovněž však jen u vf obvodu). Z téhož důvodu umísťujeme vysokofrekvenční části přístrojů, zhotovených na destičkách s plošnými spoji, pokud možno co nejdále od větších vodivých ploch (stěn skřínky apod.).

Někdy naopak můžeme této vlastnosti plošných spojů využít a potřebnou malou kapacitu vytvořit přímo vhodnou polohou dvou spojů vůči sobě. Tímto způsobem lze však zhotovit „kondenzátory“ jen velmi malých kapacit (největší kapacity dosáhneme při umístění dvou vodičů proti sobě na protilehlých stranách destičky).

Plošné cívky

Mnohem reálnější než vytváření kondenzátorů plošnými spoji jsou tzv. plošné cívky. Při návrhu cívky s maximální možnou indukčností jsme omezeni plochou, kterou máme k dispozici. Šírku vodiče volíme co nejmenší, aby se na danou plochu vešel co největší počet závitů. Cívky jsou většinou kruhové (spirálové) nebo čtveruhelníkové.

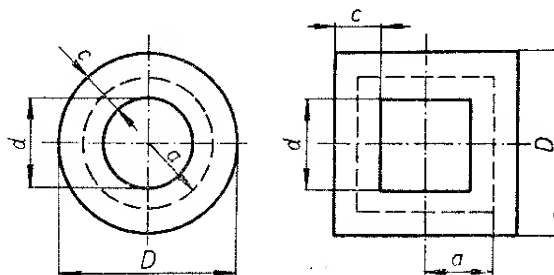
Maximální dosažitelná indukčnost je v praxi asi $10 \mu\text{H}$ při činiteli jakosti přibližně 50 až 150 podle druhu izolantu základní desky.

Indukčnost kruhové nebo čtvercové cívky lze spočítat např. podle vzorce

$$L = K a N^{5/3} \log \frac{8a}{c},$$

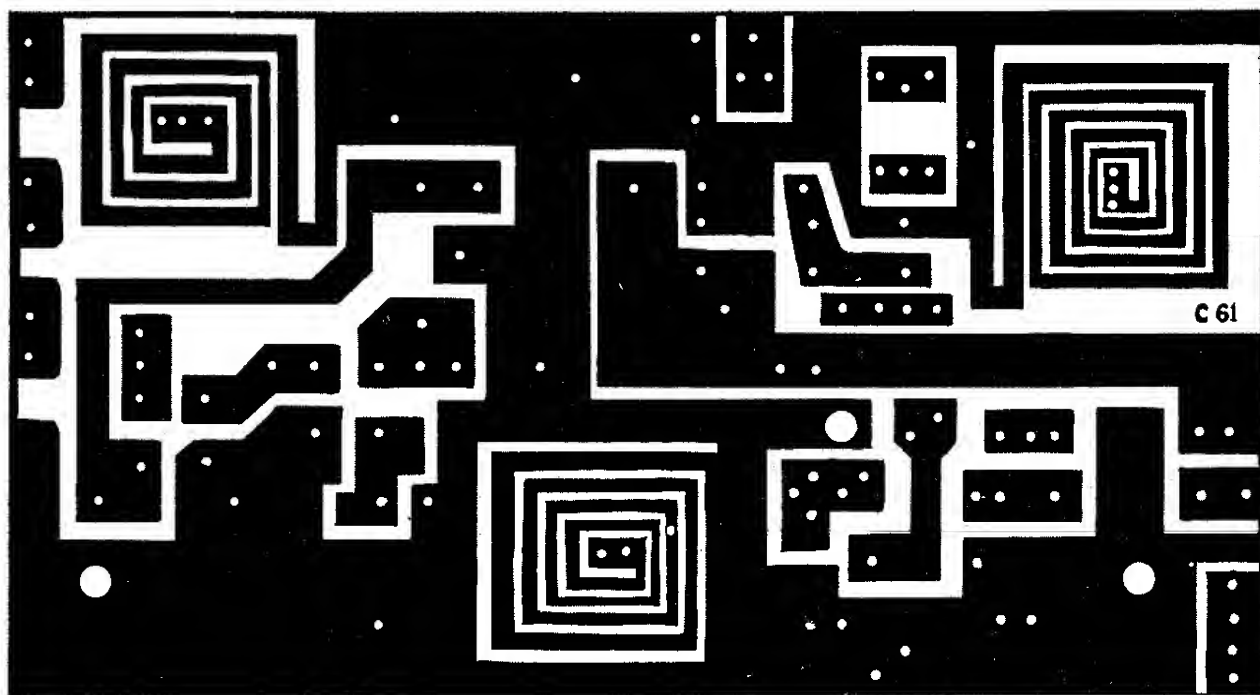
kde L je indukčnost cívky v μH ,
 a střední poloměr cívky v cm,
 c hloubka vinutí v cm,
 N počet závitů,
 K konstanta; 0,049 6 pro kruhovou cívku a 0,055 5 pro čtvercovou cívku.

Obě cívky s okótováním rozměrů jsou na obr. 11.



Obr. 11. Rozměry plošných cívek, potřebné k výpočtu jejich indukčnosti

V praxi se cívky vytvořené plošnými spoji používají velmi často např. při konstrukci tunerů pro příjem VKV, konvertorů na amatérská pásma v roz-



Obr. 12. Příklad použití plošných cívek v tuneru pro příjem VKV

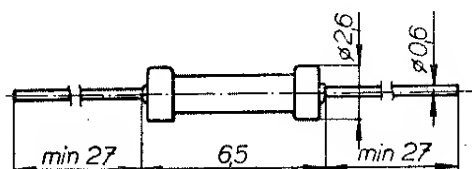
sahu VKV apod. Indukčnost lze zvětšovat řazením několika cívek do série, což ovšem způsobuje jisté konstrukční komplikace. Požadujeme-li, aby měly cívky velký činitel jakosti, je vhodné je postříbit. Příklad použití plošných cívek je na obr. 12 (destička s plošnými spoji tuneru pro příjem rozhlasu VKV v obou pásmech).

Součástky používané pro plošné spoje

V tomto článku budou probrány hlavní druhy radiotechnických součástek z hlediska jejich vhodnosti pro použití v technice plošných spojů. Nelze rozdělovat radiotechnické součástky na součástky pro plošné spoje a ty ostatní. Z hlediska miniaturizace, které technika plošných spojů napomáhá, lze však podle rozměrů součástek usoudit, zda jsou pro daný účel vhodné či nikoli. Dalším kritériem je např. možnost upevnění, provedení vývodů apod. Následující přehled není každopádně vyčerpávající a samozřejmě není také závazný. Má posloužit spíše začátečníkům, kteří nemají ještě o součástkách dostatečný přehled. Ti zkušenejší již jistě větší část sortimentu našich výrobců poznali a sami dovedou posoudit vhodnost té které součástky pro plošné spoje.

Odpory a odporové trimry

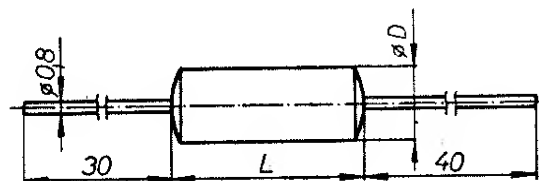
Pro většinu zapojení vystačíme s miniaturními odpory na zatížení 0,125 W. Vyrábějí se pod typovým označením TR 112a a jejich rozměry jsou v obr. 13. Pro jejich připojení používáme díry



Obr. 13. Rozměry miniaturního odporu

s roztečí 7,5 mm nebo raději 10 až 12,5 mm (podle potřeby). Miniaturní odpory jsou výhodnější z cenového hlediska; jsou nejlevnější ze všech vyráběných typů (0,40 Kčs).

Tam, kde je zapotřebí odpor na větší zatížení nebo kde nezáleží na rozměrech a vyžadujeme naprostou spolehlivost, použijeme některé z typů TR106, TR107 a TR108. Jsou to rovněž uhlíkové odpory, jejich zatížitelnost je 0,25, 0,5 a 1 W. Rozměry podle obr. 14 jsou:



Obr. 14. Rozměry odporů

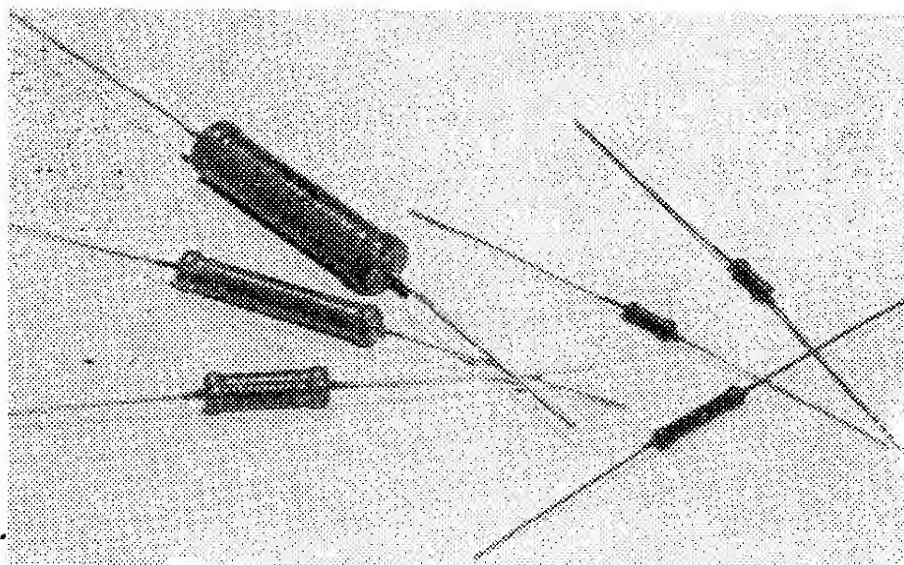
Typ	Zatížení	Průměr D	Délka L
TR106	0,25 W	5,2 mm	15,5 mm
TR107	0,5 W	5,2 mm	25,5 mm
TR108	1 W	6,1 mm	29,5 mm

Všechny uvedené odpory se vyrábějí v řadě E24.

Perspektivní jsou odpory s kovovou vrstvou, které při stejných rozměrech snesou mnohem větší zatížení než odpory uhlíkové. Jsou zatím ale podstatně dražší než odpory uhlíkové. Vyrábějí se pod typovým označením TR151 až TR153 s následujícími rozměry (odpovídajícími obr. 14):

Typ	Zatížení	Průměr D	Délka L
TR151	0,25 W	3 mm	7 mm
TR152	0,5 W	4,2 mm	10,8 mm
TR153	1 W	6,6 mm	13 mm

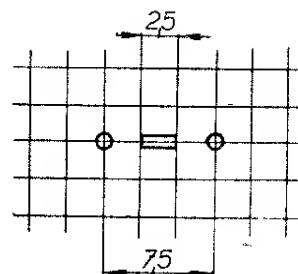
Odpory na zatížení větší než 1 W raději neumísťujeme na destičku s plošnými spoji, protože vyzařují velké množství



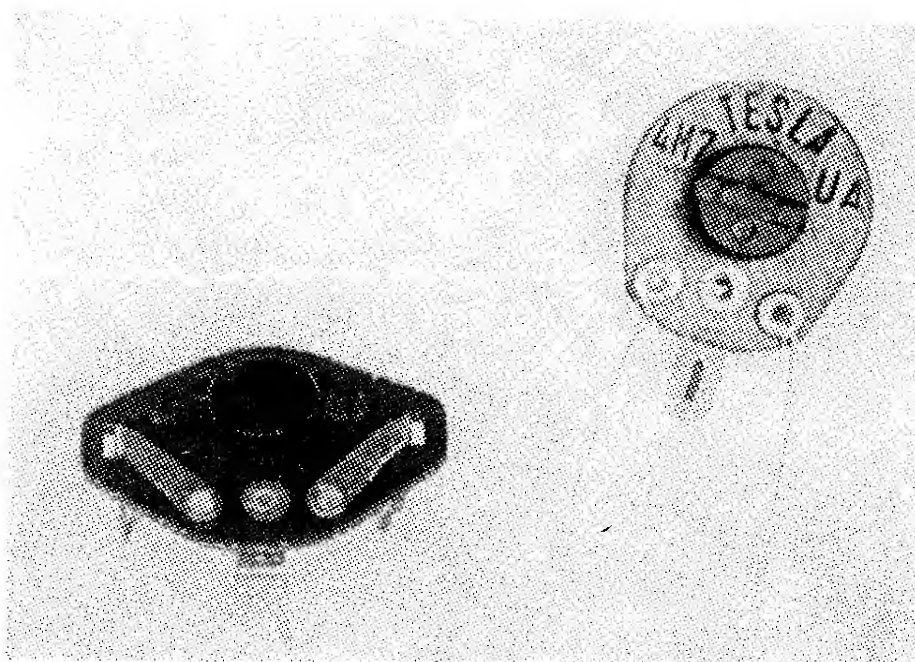
Obr. 15. Odporý používané do plošných spojů

tepla, které může ohrozit funkci okolních součástek (všechny uvedené typy odporů jsou na obr. 15).

Pokud nemůžeme použít v zapojení pevný odpor (neznáme-li předem přesně potřebný odpor), používáme odporové trimry. V zásadě se vyrábějí dva typy těchto trimrů (obr. 16). Jeden má běžec vyveden na pájecí očko a krajní vývody odporové dráhy jsou drátové. Upevňuje se na stojato, ovládá se ze strany a zabírá poměrně málo místa. V případě stěsnanější montáže je ale k jeho ovládacímu kotoučku obtížnější přístup a jeho mechanická stabilita také

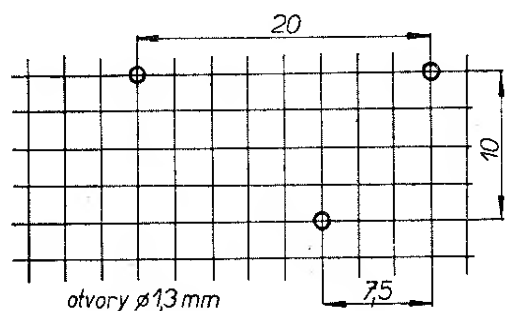


Obr. 17. Rozteče otvorů pro trimr WN 790 25



Obr. 16. Odporové trimry, používané do plošných spojů

není dokonalá. Typové označení má WN 790 25 (popř. 26, podle délky ovládacího hřídele). Rozměry a rozteče otvorů do plošných spojů pro tento typ jsou na obr. 17. Druhý typ se začal vyrábět s určením pro plošné spoje. Všechny vývody jsou z kovového pásku ohnutého kolmo k odporové dráze. Zabírá na destičce poměrně dost místa, ale je mechanicky velmi stabilní a snadno ovladatelný shora šroubovákem. Vyrábí se pod označením WN 790 30 (popř. 29, opět podle délky ovládacího hřídele). K jeho upevnění do destičky vyvrtáme tři díry podle obr. 18.

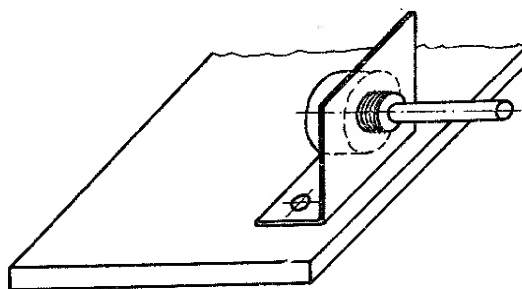


Obr. 18. Rozteče otvorů pro trimr WN 790 30

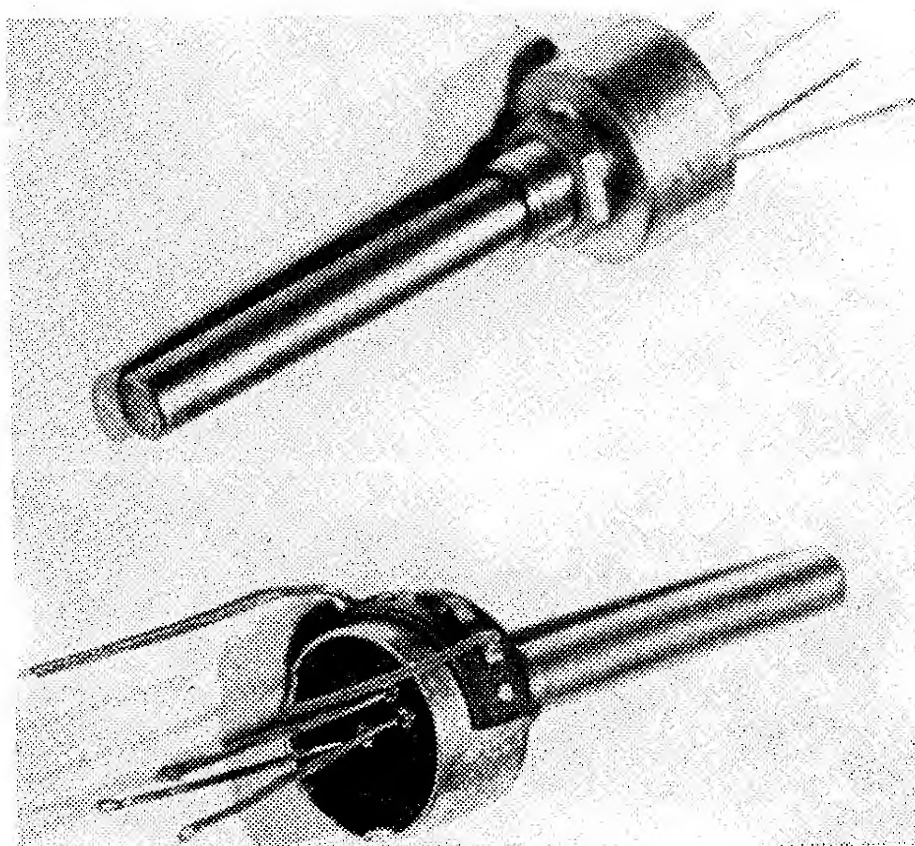
Potenciometry

V některých případech umísťujeme přímo na destičku s plošnými spoji i potenciometry – proto se seznámíme i s nejčastěji používanějšími typy potenciometrů.

Nejčastěji se používají miniaturní potenciometry TP180 nebo TP181 (se spínačem). Na destičku je upevňujeme buď pomocí držáku (obr. 19) nebo přímo za vývody; v tom případě pak často pomocí potenciometru upevňujeme celou destičku např. k přednímu panelu přístroje. Oba typy se vyrábějí jak s lineárním, tak i s logaritmickým průbě-



Obr. 19. Upevnění potenciometru TP180 (TP181) pomocí držáku

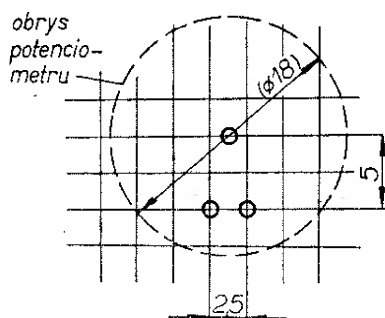


Obr. 20. Potenciometry TP180 a TP181 (se spínačem)

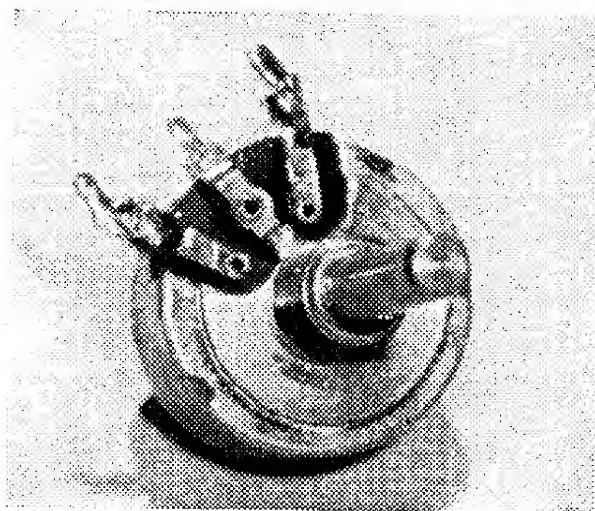
hem. Potenciometry s lineárním průběhem mají zatížitelnost 0,25 W a označení N, s logaritmickým průběhem 0,1 W a označení G. Vzhled obou typů je na obr. 20, rozteče upevňovacích otvorů při montáži za vývody do destičky jsou na obr. 21.

Větší potenciometry upevňujeme málokdy přímo do destičky s plošnými spoji; když už, tak výhradně pomocí držáku. Potenciometry typu TP280 a TP281 (se spínačem) mají vývody uzpůsobeny tak, že mohou být při použití vhodného držáku zapájeny bez prodlužování přímo do destičky (potenciometr TP280 je na obr. 22).

Pokud jsou potenciometry umístěny mimo destičku s plošnými spoji, je výhodné připojovat je na pájecí očka nebo nýtky, které zapájíme do příslušných otvorů v destičce. Propojujeme je s destičkou nejlépe kablíkem (je-li třeba, stíněným).



Obr. 21. Rozteče otvorů pro přímé upevnění potenciometru TP180 (TP181)



Obr. 22. Potenciometr TP280

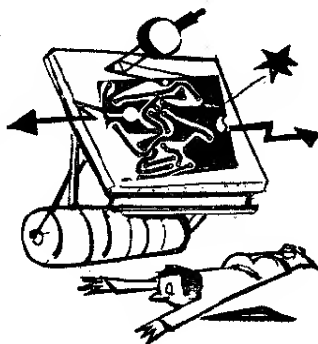
Kondenzátory

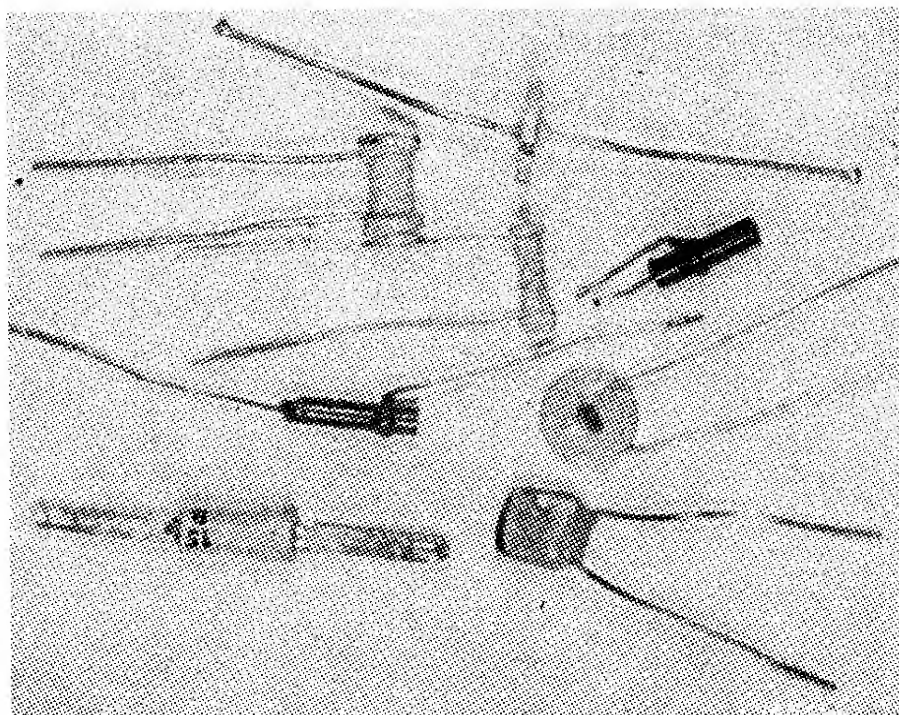
Kondenzátory používané v radiotechnice bychom mohli podle účelu rozdělit zhruba do tří skupin. Jsou to jednak kondenzátory používané v laděných obvodech jako součást rezonančního obvodu; do této kategorie lze zařadit i vazební kondenzátory pro vf obvody. Do druhé skupiny patří blokovací kondenzátory a vazební kondenzátory pro nf obvody a konečně do třetí skupiny elektrolytické kondenzátory jak blokovací, tak i vazební.

Podle těchto tří skupin také probereme vhodnost jednotlivých vyráběných typů.

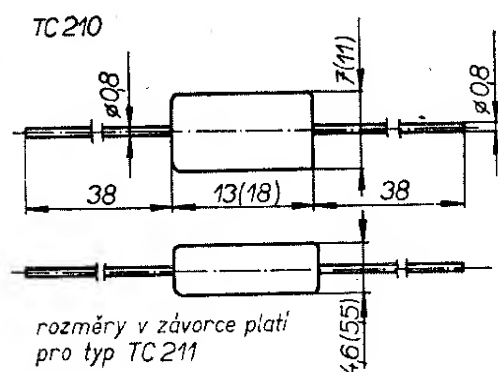
Kondenzátory používané v rezonančních obvodech a jako vazební pro vf obvody

Z této skupiny budeme asi používat ty typy, které seženeme (obr. 23). Sortiment je poměrně veliký, ovšem jednotlivé typy se vyskytují na trhu vesměs nárazově. Nejvhodnější jsou keramické kondenzátory všeho druhu. Vyhovují obvykle i svými rozměry, protože používáním nových keramických hmot s velkou permitivitou se rozměry kondenzátorů značně zmenšily. Vhodnou volbou a skládáním jednotlivých typů se záporným a kladným teplotním součinitelem lze dosáhnout i dobré tepelné stability obvodu. Z hlediska rozměrů jsou nejvýhodnější trubičkové kondenzátory, které potřebují k montáži opravdu minimum místa. Výhodné jsou také polštářkové typy. Větší výběr kapacit bývá obvykle u slídových kondenzátorů, i když ty jsou již méně stabilní. Rozměrově vhodný pro plošné spoje je typ TC210 a TC211 (obr. 24 a 25). Velmi malé jsou polystyrenové kondenzátory („styroflexy“), které lze používat ve všech případech, kde stabilita není kritická, tj. snad kromě oscilátorů všude. Vyrábějí se pod ozna-

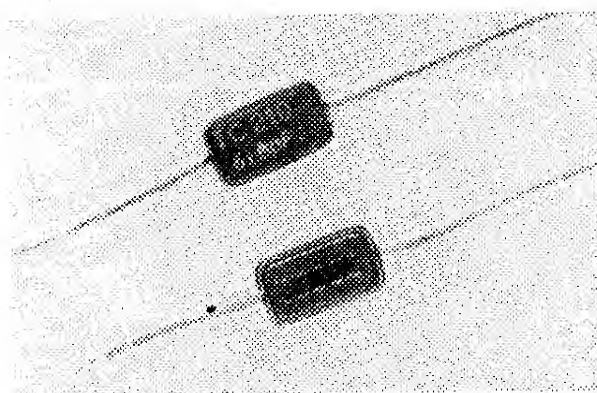




Obr. 23. Kondenzátory používané do vf obvodů



Obr. 24. Rozměry slídivých kondenzátorů TC210

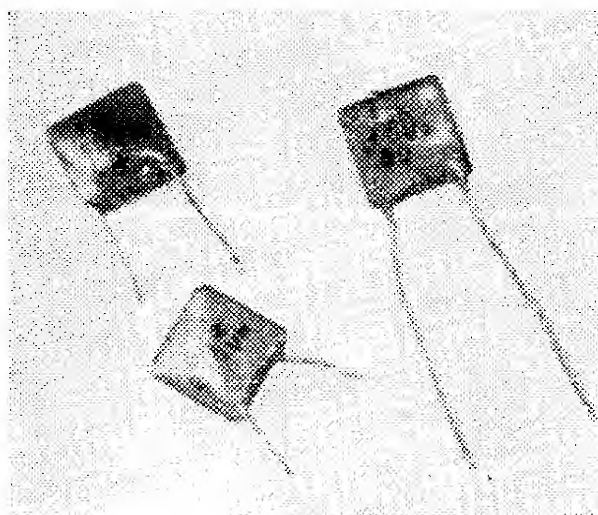


Obr. 25. Slídivé kondenzátory TC210

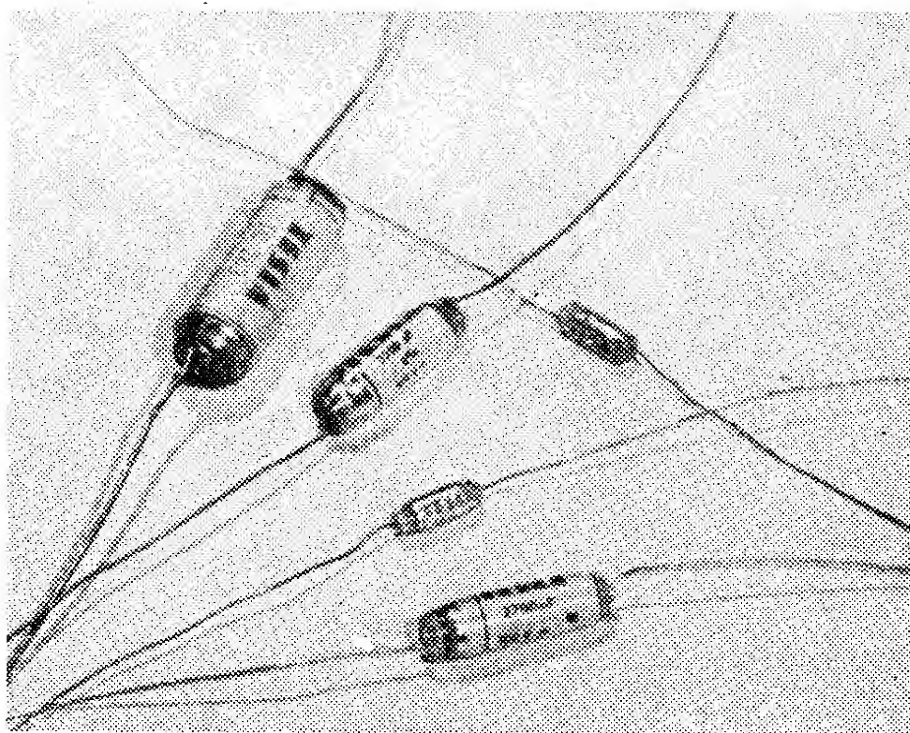
žením TC281 s kapacitami 10 pF až 10 nF na napětí 100 V; jejich rozměry se pohybují od $\varnothing 3 \times 7$ mm do $\varnothing 7 \times 15$ milimetrů (obr. 27).

Blokovací kondenzátory a vazební kondenzátory pro nf obvody

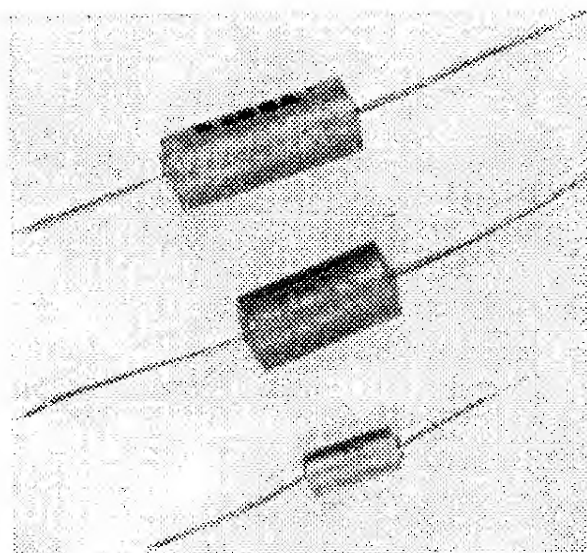
V této skupině jsou nyní daleko nejvýhodnější keramické polštářkové kondenzátory (obr. 26). Zabírají na destičce minimum místa a vyrábějí se až do ka-



Obr. 26. Keramické ploché kondenzátory



Obr. 27. Styroflexové kondenzátory



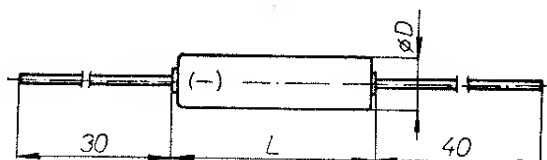
Obr. 28. Zalisované kondenzátory z metalizovaného papíru TC180

capacity 0,1 μF . Jejich značnou nevýhodou je však (speciálně u větších kapacit) cena – až 9,50 Kčs za jeden kus. Přesto se používají téměř výhradně, protože jiný rozměrově stejně výhodný typ se nevyrábí.

Kde nezáleží na rozměrech, lze použít zastříknuté kondenzátory z metalizovaného papíru TC180 a TC181 (obr. 28).

Jejich kapacity a rozměry (až do hranice vhodnosti pro plošné spoje) jsou v následující tabulce (též obr. 29):

Typ	Napětí	Kapacita [nF]	Průměr D [mm]	Délka L [mm]
TC180	100 V	15	5	11,5
		47	6	16,5
		68	6	16,5
TC181	160 V	10	5	11,5
		15	6	16,5
		22	6	16,5
		33	6	16,5
		39	6	16,5



Obr. 29. Rozměry zalisovaných MP kondenzátorů TC180

Elektrolytické kondenzátory blokovací a vazební

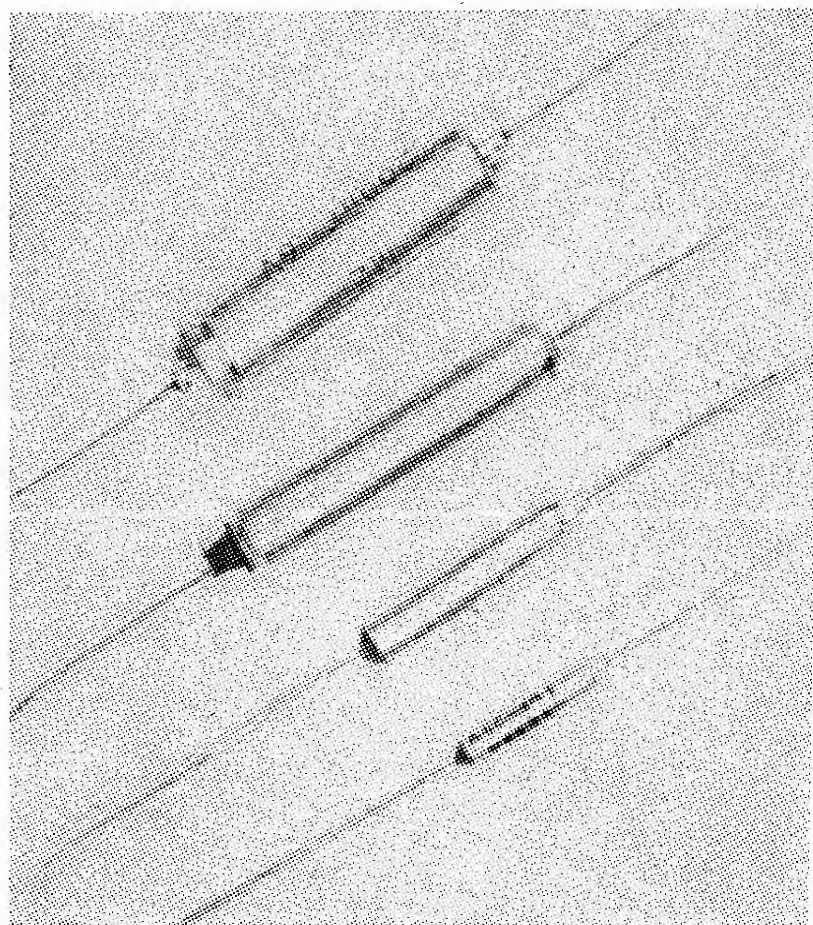
Pro plošné spoje používáme dva typy kondenzátorů, které se liší provedením vývodů. Jsou to jednak kondenzátory s axiálními vývody, které se montují na destičku ve vodorovné poloze (stejně jako odpory), jednak kondenzátory s vývody na jedné straně, vyráběné speciálně pro plošné spoje, které se montují na výšku a zabírají minimální plochu. Kondenzátory s axiálními vývody (obr. 30 a 31) se vyrábějí pod typovým označením TC962 až 965 s těmito kapacitami a rozměry:



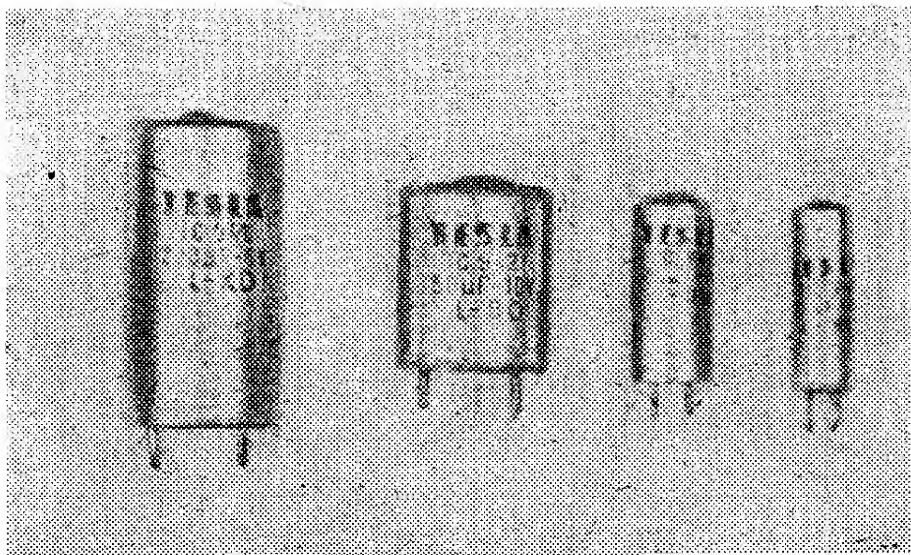
Obr. 30. Rozměry elektrolytických kondenzátorů s axiálními vývody

Typ	Kapacita [μF]	Napětí [V]	Průměr D [mm]	Délka L [mm]
TC962	50	6	8,5	28
	100	6	8,5	43
	200	6	10	43
TC963	20	12	7	28
	50	12	8,5	33
	100	12	8,5	43
	200	12	11,5	43
TC964	10	25	7	28
	20	25	8,5	28
	50	25	8,5	43
	100	25	11,5	43
TC965	5	50	7	28
	10	50	8,5	28
	20	50	8,5	33
	50	50	10	43

Použití těchto typů kondenzátorů je někdy velmi výhodné (zejména ve funkci blokovacího kondenzátoru, kdy lze blokovat dvě místa na destičce, která jsou od sebe dost vzdálena; bývá to obvykle např. přívod kladného a záporného napětí



Obr. 31. Elektrolytické kondenzátory s axiálními vývody

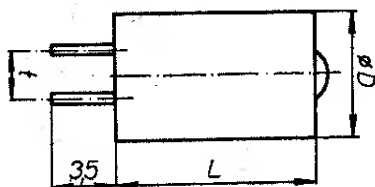


Obr. 33. Elektrolytické kondenzátory do plošných spojů TC941 až 943

zdroje, které bývají na protilehlých stranách destičky.

Mnohem méně místa zaberou kondenzátory s vývody na jedné straně, vyráběné pod označením TC941 až 943. Jsou ovšem více než dvojnásobně dražší než předchozí typ. Vyrábějí se s těmito kapacitami a rozměry (obr. 32, 33):

Typ	Kapacita [uF]	Napětí [V]	Velikost
TC941	10	6	1
	20	6	2
	50	6	3
	100	6	4
	200	6	5
TC942	5	10	1
	10	10	2
	20	10	2
	50	10	4
	100	10	5
TC943	2	15	1
	5	15	2
	10	15	3
	20	15	4
	50	15	5

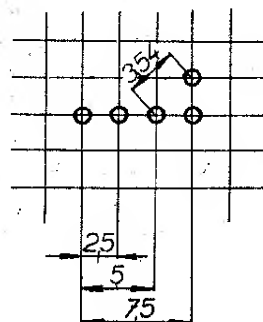


Obr. 32. Rozměry elektrolytických kondenzátorů do plošných spojů TC941 až 943

Rozměry a rozteče vývodů jednotlivých typů:

Velikost	Průměr D [mm]	Výška L [mm]	Rozteč [mm]	Ø vývodů [mm]
1	5	16	2,5	0,6
2	7	16	3,54	0,6
3	10	16	5	0,8
4	13	16	7,5	0,8
5	13	25	7,5	0,8

Konstrukce roztečí pro upevnění elektrolytických kondenzátorů TC941 až TC943 je na obr. 34.



Obr. 34. Rozteče otvorů pro elektrolytické kondenzátory TC941 až 943

Polovodičové součástky

V této oblasti nelze konstatovat, které polovodičové součástky jsou vhodné pro konstrukce na plošných spojích a které nikoli. Je samozřejmé, že pro tyto konstrukce používáme všechny druhy polovodičových součástek, neboť právě technika plošných spojů je pro zapojení s polovodiči nejvhodnější.

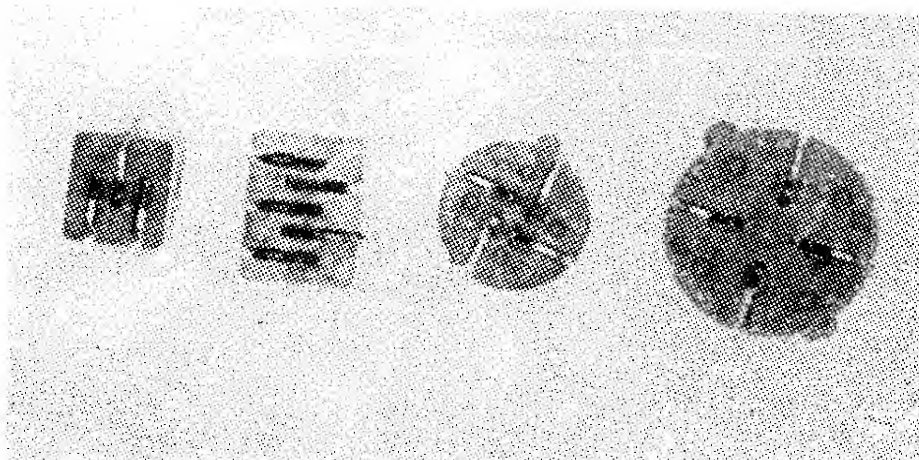
Tranzistory montujeme do destičky několika různými způsoby. Nejjednodušší a stále nejpoužívanější je prosté připájení vývodů do plošných spojů; vlastní pouzdro tranzistoru uchyceno není. Musíme zde najít vhodný kompromis mezi mechanickou pevností (aby se tranzistor na vývodech „nekýval“) a požadavkem odvodu tepla při pájení, tj. minimální délky přívodů. Někdy se dělá v destičce s plošnými spoji otvor stejného průměru jaký má pouzdro tranzistoru a do tohoto otvoru se tranzistor zasune. Je to poměrně dobrý způsob; jeho nevýhoda spočívá v tom, že musíme „vyčlenit“ plochu na upevňovací otvor, který je u některých tranzistorů dost veliký (8 mm).

V poslední době se stále častěji používají pro připevnění tranzistorů objímky. Vyrábějí se zatím ve čtyřech provedeních (obr. 35). Dva starší typy jsou pro běžné tranzistory s třemi vývody v řadě (a), popř. pro tranzistor OC170 se čtyřmi vývody v řadě (b). Nevýhodou těchto objímek je poměrně malá rozteč mezi jednotlivými vývody. Návrh spojového obrazce v okolí objímky je z toho důvodu obtížnější. Další dva typy objímek

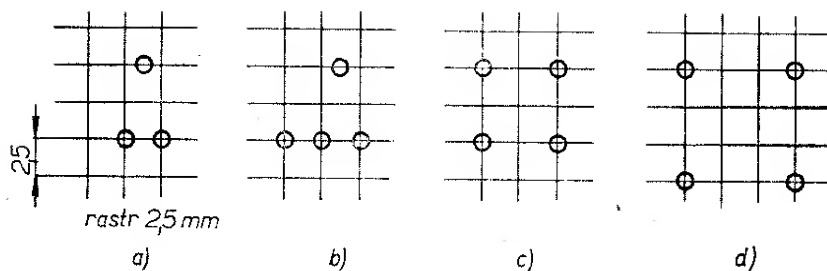
jsou určeny pro tranzistory se souměrně umístěnými vývody. Mezi první, menší typ patří např. GF505, AF139, AF106, řada KC apod., mezi větší typy patří křemíkové KF503 až 508, GF501, tyristory KT501 až 505. Tyto objímky mají již větší rozteče a jejich použití je výhodné. Rozteče děr pro připájení objímek jsou na obr. 36.

Před návrhem plošných spojů je zapotřebí zvážit všechny výhody a nevýhody montáže s objímkou a bez ní. Přímé pájení vývodů tranzistorů do destičky má tyto výhody: dokonalý elektrický kontakt, nemožnost uvolnění otřesy, není nutné zachovat přísně geometrické rozmístění vývodů a návrh spojového obrazce je snazší. Nevýhodou je nutnost pájení, tudíž potřeba delších vývodů, nesnadná výměna při zkoušení nebo opravách. Výhodou objímek je snadná vyměnitelnost tranzistoru, možnost zkrátit vývody na minimum, lepší estetický vzhled a menší nároky na místo. Nevýhodou je mechanický kontakt mezi vývody tranzistoru a pružinami objímky, možnost většího přechodového odporu, horší odolnost proti otřesům, nutnost dodržet přesné rozmístění vývodů tranzistoru na destičce s plošnými spoji a v neposlední řadě i vyšší pořizovací náklady.

Integrované obvody montujeme stejně jako tranzistory. Objímky s více než čtyřmi otvory však zatím nejsou na trhu, takže integrované obvody s více než čtyřmi vývody musíme do destičky pájet. Na IO typů MAA115, MAA125 a



Obr. 35. Objímky
pro tranzistory



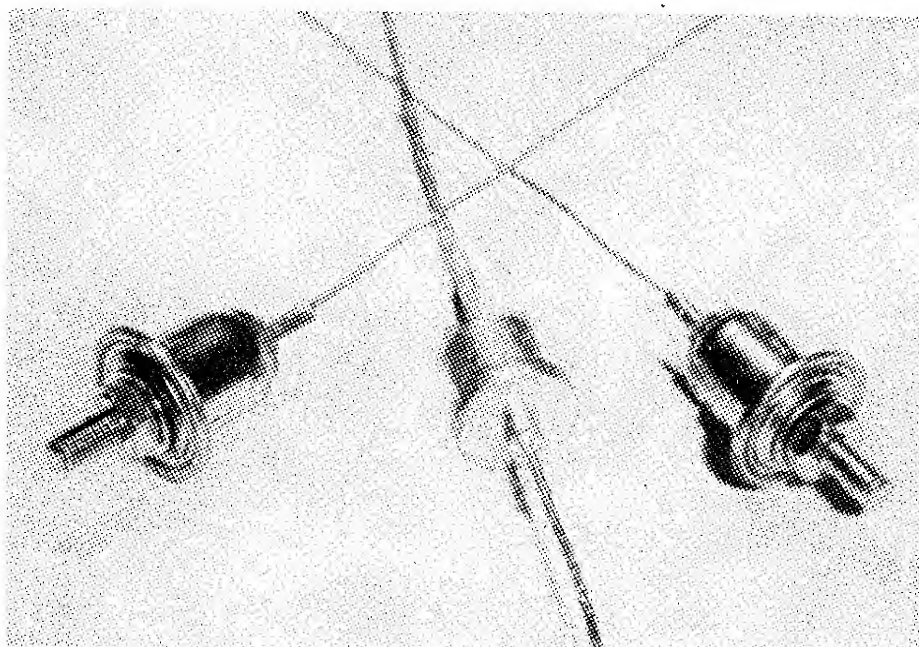
Obr. 36. Rozteče otvorů objímek pro tranzistory

MAA145 můžeme použít stejné objímky jako na tranzistory typů KF a GF503 až 504 (obr. 36c).

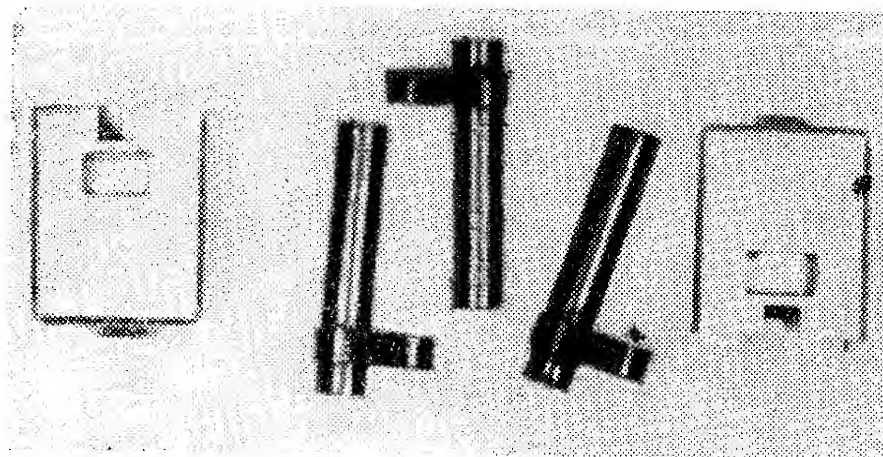
Polovodičové hrotové diody a novější plošné křemíkové diody s axiálními vývody montujeme do destičky stejným způsobem jako odpory. Plošné germaniové a křemíkové diody (starší výroby) a Zenerovy diody (obr. 37) mají jeden

vývod na šroubku M3 a musíme počítat proto při návrhu destičky s otvorem pro tento šroub.

Způsob montáže polovodičových součástek do destiček s plošnými spoji bude podrobněji probrán v příslušné kapitole. Na tomto místě jsme chtěli jenom poukázat na ta hlediska, která je nutno vzít v úvahu již při návrhu spojového obrazce.



Obr. 37. Křemíkové usměrňovací diody a Zenerovy diody



Obr. 38. Kostříčky na cívky o $\varnothing 5$ mm („botičky“)

Ostatní součástky

V sortimentu ostatních součástek je bohužel na našem trhu velmi málo takových, o nichž by se dalo říci, že jsou vhodné pro plošné spoje. Kromě mezikvencenních transformátorů z některých továrně vyráběných tranzistorových přijímačů, jejichž vývody jsou upraveny pro použití do plošných spojů a několika cívek téhož původu není k dostání vhodná cívka ba ani kostříčka. Z nouze lze používat kostříčky o \varnothing 5 mm (tzv. botičky, obr. 38), které zalepíme do díry příslušného průměru v destičce s plošnými spoji a vývody vinutí zapájíme přímo do příslušných otvorů. Výměna nebo jakákoli manipulace s cívkou je potom ovšem velmi obtížná. Je-li nutné cívku stínit, použijeme některý z kovových krytů, které lze zakoupit a mechanicky i elektricky ho spojíme s destičkou nejméně na dvou místech.

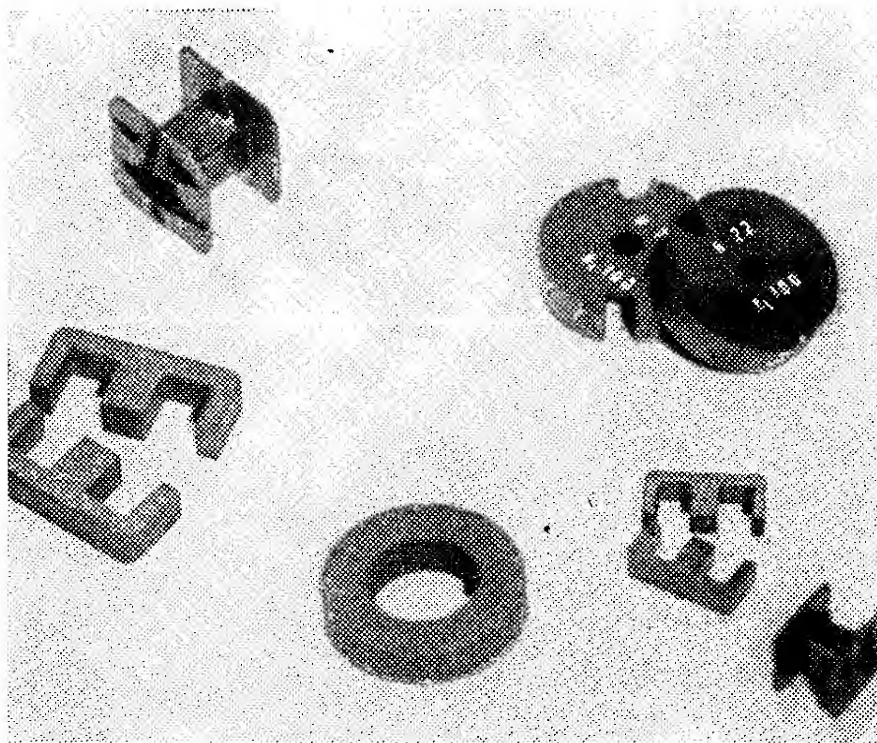
Ladičí kondenzátory upevňujeme přímo na destičku s plošnými spoji většinou pouze u malých tranzistorových přijímačů. Ladičí kondenzátor se upevní šroubky a hřídel pak volně prochází destičkou. Vývody se zapájejí do destičky, přičemž rozteč děr pro vývody není v určitých mezích kritická.

Na cívky s větší indukčností a na malé transformátorky jsou vhodná feritová jádra – buď hrníčková nebo typu EE (EB). Tato jádra upevňujeme na destičku přilepením (obr. 39).

Výběr vhodných součástek

Kritéria podle nichž posuzujeme vhodnost či nevhodnost té které součástky pro dané zapojení a danou konstrukci byla již uvedena přímo u popisu jednotlivých součástek. Shrneme-li všechna hlediska, můžeme je rozdělit zhruba do tří skupin. Je to jednak posuzování součástek z hlediska rozměrů vzhledem k prostoru, který máme k dispozici, dále z hlediska nároků na kvalitu a spolehlivost zapojení a tím i součástek a za třetí z hlediska ceny jednotlivých součástek a tím i celé konstrukce.

Není účelné snažit se o miniaturizaci za každou cenu. Některé přístroje obsahují součástky, jež určují přibližně jejich rozměr (např. měřidla, reproduktory, obrazovky); i počet ovládacích prvků a z toho plynoucí rozměr předního panelu určují základní rozměry přístroje. Využijme potom klidně všeho místa, které ve skřínce je. Nedosáhneme žádné-



Obr. 39. Feritová jádra pro konstrukce na plošných spojih

ho efektu tím, že celé zařízení zminiaturizujeme na destičku 40×40 mm a celá skříň zůstane prakticky prázdná. Zapojení bude nepřehledné, bude se špatně opravovat a celý přístroj bude dražší, neboť některé miniaturní součástky jsou mnohem dražší než součástky standardní velikosti. Naopak stavíme-li miniaturní kapesní tranzistorový přijímač, je pochopitelné, že montáž bude co nejstěsnanější a zvýšené náklady budou vyváženy menšími rozměry přijímače.

Otázka spolehlivosti také není zanedbatelná. Pro měřicí přístroje a jiná zařízení, kde záleží na přesnosti a dlouhodobé stabilitě a spolehlivosti, používáme větší, robustnější součástky. Vyhneme se miniaturním odporům a potenciometrům, použijeme čtvrt nebo i půlwattové typy. Vyhneme se raději i mechanickým kontaktům objímek na tranzistory a tranzistory zapájíme přímo do destičky s plošnými spoji. Větší rozměry celého přístroje umožňují lepší větrání a ochlazování případných zdrojů tepla a snižují tak závislost funkce přístroje na teplotě.

A většina z vás jistě nebude zanedbávat ani hledisko finanční náročnosti a předem důkladně zváží, je-li výhodnější použít např. rozměrově výhodnější „i hezčí“ elektrolytické kondenzátory TC941 po 7,— Kčs nebo se spokojit s levnějšími a většími TC963 po 2,50 Kčs; zvláště je-li jich v zapojení větší počet. Do jisté míry to souvisí i s prvním kritériem – s rozměry součástek.

Všechny tyto okolnosti je třeba zvážit dříve, než přistoupíme k návrhu obrazce plošných spojů.

Vlastní návrh obrazce plošných spojů

Máme-li dané zapojení vyzkoušeno a shromážděny všechny součástky, které budou na destičce s plošnými spoji, můžeme se pustit do návrhu spojového obrazce. Všimněme si první části předchozí věty „máme-li dané zapojení vyzkoušeno“. Jen u velmi jednoduchých zapojení si můžeme dovolit navrhovat plošné spoje, osadit destičku součástkami a teprve zapojení vyzkoušet. Většinou

velmi často zjistíme, že je zapotřebí tu jednu součástku přidat, tu ubrat, tu použít jiný, rozměrově odlišný typ. Použijeme-li potom původní desku s plošnými spoji, je to improvizace – jinak musíme celou desku předělat. Proto vždy zkusíme zapojení ve formě „hnízda“ nebo na univerzálních destičkách. Stejně důležitá je i druhá část uvedené věty, tj. „shromážděny všechny součástky, které budou na destičce s plošnými spoji umístěny“. Budeme-li totiž počítat při návrhu desky s teoretickými rozměry součástek podle katalogu, může se později stát, že uvažovaný typ součástky neseženeme a dostupný typ bude třeba dvojnásobně velký. A opět vzniknou potíže s umístěním, s otvory na vývody apod.

Jde-li o složitější zapojení, musíme se nejdříve rozhodnout, budeme-li ho realizovat na jediné velké desce s plošnými spoji, nebo rozdělíme-li ho na několik částí, z nichž každá bude mít vlastní destičku s plošnými spoji. Oba způsoby mají své výhody a nevýhody. Při konstrukci na jedinou desku jsou všechny obvody vůči sobě trvale ve stejné poloze, celek je mechanicky pevnější, jednodušší se upevňuje do skříňky či pouzdra. Vhodným rozmístěním obvodů dosáhneme poměrně efektivního využití místa. Při rozdělení zapojení na několik částí (obvodů) jsou větší potíže s jejich upevňováním a může dojít např. k nežádoucím vazbám při propojování jednotlivých destiček mezi sebou. Na druhé straně se zapojení snáze uvádí do chodu, protože je možné předem nastavit jednotlivé části; při dodatečných úpravách nebo změnách stačí vyměnit jedinou destičku a ostatní ponechat, mnohdy se podaří lépe využít prostoru, který je k dispozici (především tehdy, je-li prostor rozdělen většími mechanickými součástmi nebo díly, např. transformátory, obrazovkou, přepínači apod.). Při návrhu menších destiček se vyskytne mnohem méně problémů a návrh je rychlejší. V neposlední řadě je na místě i úvaha, zda nějakou část konstruovaného zařízení (nf zesilovač, zdroj apod.) nebude potřebovat v budoucnosti znovu – potom je výhodné umístit ji na samo-

statnou destičku a příště si ušetříme práci s návrhem.

Velikost destičky volíme buď podle tvaru skříňky nebo pouzdra, do něhož chceme celé zařízení umístit, nebo podle rozměrů největších součástek, které budou na destičce umístěny, popřípadě podle rozměrů prostoru, který máme pro umístění destičky k dispozici. Samozřejmě je nutné brát v úvahu počet součástek, které mají být na destičce umístěny. Nesmíme zapomenout na upevnění destičky do zařízení, tj. ponechat volné okraje (asi 5 mm) nebo alespoň počítat s místem pro upevňovací šrouby.

Pro amatérskou potřebu je lépe volit menší destičky. Jednak je návrh obrazce plošných spojů mnohem snazší, což pomůže hlavně začátečníkům nebo těm, kteří se navrhováním nezabývají příliš často; jednak oceníme výhodu menších destiček i při vlastní výrobě, kdy stačí menší misky, menší množství roztoku a chemikálií a konečně v případě, že se destička nepovede, „zkazili jsme“ menší kus materiálu.

Rozhodneme-li se pro jedno z uvedených řešení, vezmeme všechny součástky, které budou v zapojení na dané destičce použity a vhodně je na destičku rozložíme. Nemusíme to samozřejmě dělat doslova, stačí si rozložení kreslit na papír (při respektování skutečných rozměrů součástek). Pod slůvkem vhodně jsou skryty základní obecné konstrukční zásady. Součástky umísťujeme tak, aby:

- cesta signálu ať nízkofrekvenčního nebo vysokofrekvenčního, byla vždy co nejkratší;

- součástky, na nichž je např. zesílovací signál nebyly blízko u zdrojů možných rušivých napětí, jako jsou transformátory, tlumivky, kontakty apod.;

- polovodičové součástky a ostatní součástky citlivé na teplotu byly co nejdále od zdrojů tepla, tj. srážecích odporů, elektronek, koncových tranzistorů (zahřívají-li se) atd.;

- i cívky a kondenzátory laděných obvodů, jejichž parametry také většinou závisí na teplotě byly od tepelných zdrojů co nejdále;

- výstup a vstup jednoho stupně ne-

byly příliš blízko sebe a aby tím nedocházelo k nežádoucím vazbám;

- spoje, které mezi jednotlivými součástkami povedou, byly co nejkratší a aby se pokud možno nekřížily;

- vývody z destičky byly umístěny v takovém místě, aby napojení na zdroj a případné další destičky nebo součástky bylo co nejkratší.

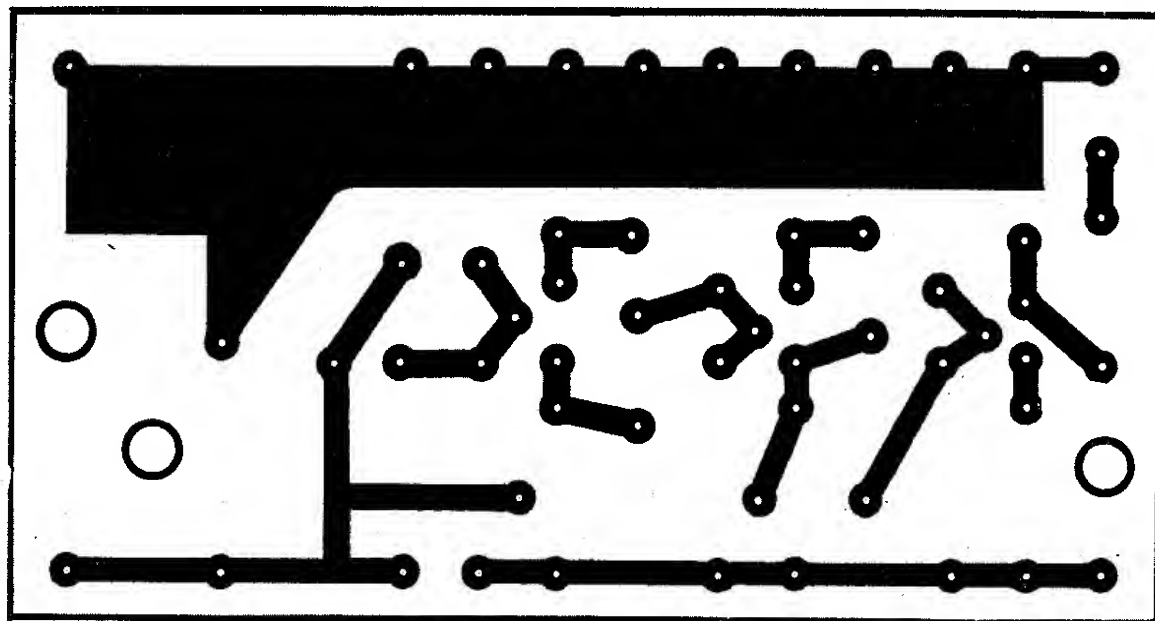
Jsou-li součástky na destičce rozmístěny, překreslíme rozmístění na papír (kreslíme pouze obrysy součástek při zachování skutečných rozměrů a hlavně roztečí vývodů). Všechny součástky propojíme podle schématu (tužkou). Obvykle se to nepovede hned napoprvé, vždy se vyskytnou nějaké spoje, které se kříží. Pomůžeme si malými změnami v rozmístění součástek, některá překřížení odstraníme přemostěním kříženého spoje některou ze součástek. Společný pól zdroje - většinou záporný - se snažíme vést tak, aby procházel mezi místy, mezi nimiž by neměla vzniknout nežádoucí vazba. Každopádně si nepomáháme při křížení vodičů tím, že dvě místa, která nejdou propojit na straně spojů, budeme propojovat drátem na straně součástek. Je to sice funkčně nezávadné, avšak z technického hlediska nedokonalé a při trošce přemýšlení se vždycky najde cesta, jak spojení uskutečnit v obrazci plošných spojů.

V tomto stadiu návrhu se musíme rozhodnout pro to, kterou soustavu plošných spojů zvolíme; zda soustavu spojových čar nebo soustavu dělicích čar. První spočívá v tom, že jednotlivé spoje jsou tvořeny pouze úzkými proužky měděné fólie a zbytek fólie se z plochy odleptá. U soustavy dělicích čar se naopak odleptají jen úzké mezery mezi jednotlivými spoji a zbytek fólie se na destičce ponechá. Spoje jsou potom prakticky tvořeny měděnými plochami. První způsob je přehlednější, odleptání však trvá déle a více vyčerpává leptací roztok a z ekonomického hlediska je neefektivní. Používá se většinou tam, kde se chceme vyhnout parazitním kapacitám mezi spoji a nežádoucím vazbám, tj. hlavně v technice vysokofrekvenčních obvodů. Systém dělicích čar je výhodnější jak z ekonomického hlediska, tak i z hlediska ama-

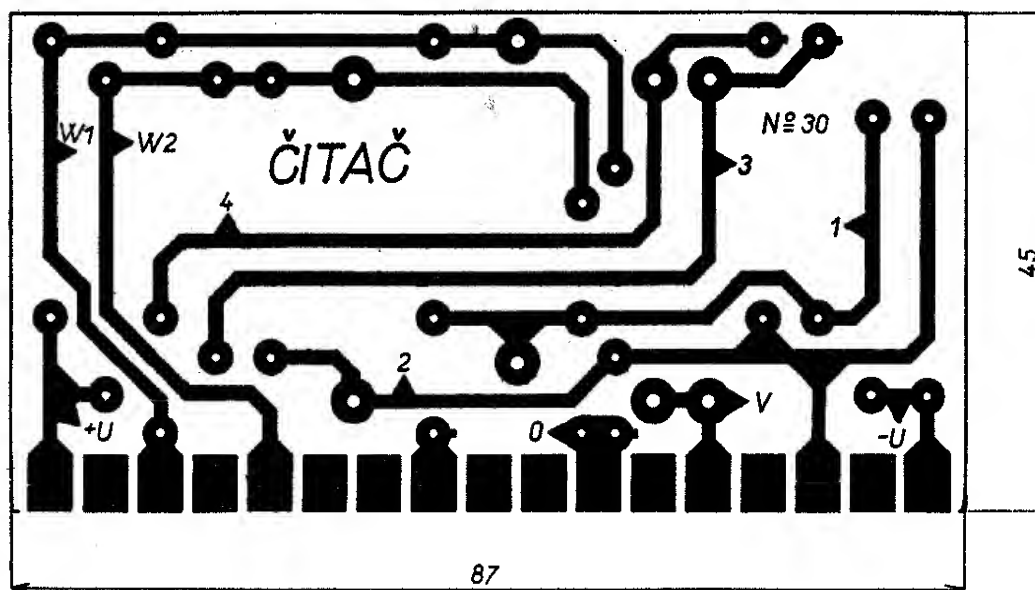
térské výroby - jeho nevýhodou je ale nepřehlednost zapojení a obtížnější orientace při případných opravách. Příklad spojového obrazce vytvořeného metodou spojových čar je na obr. 40 a 41, obrazec vytvořený metodou dělicích čar je na obr. 42 a 43. Na obr. 44 je použita kombinace obou způsobů.

Při překreslování obrazce použijeme nejlépe čtverečkovaný papír s rastroem 5 mm. Držíme se těchto zásad (obr. 45):

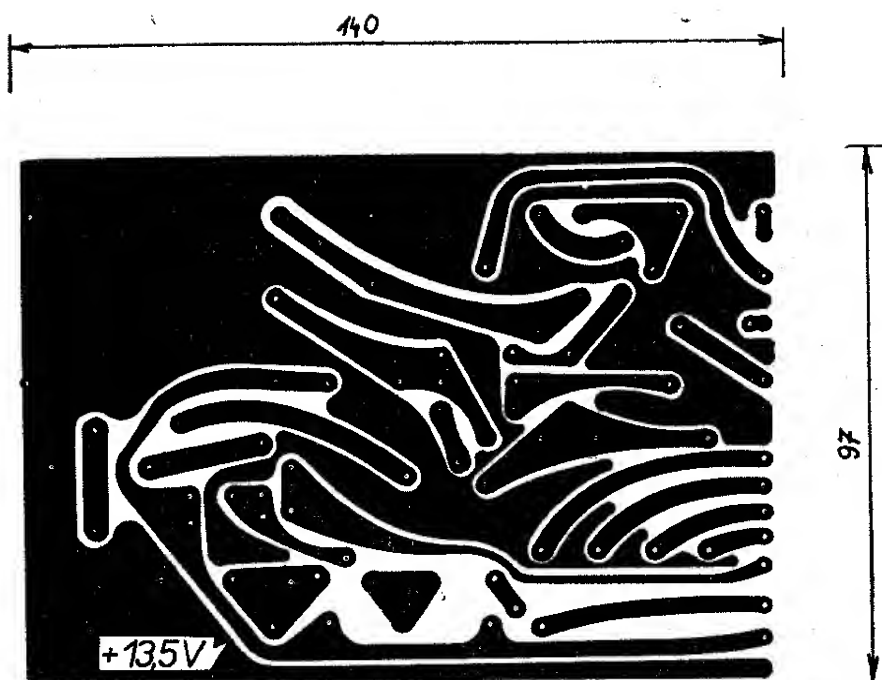
- nejmenší vzdálenost dvou spojů je 1 mm;
- nejmenší vzdálenost dvou pájecích otvorů spojených elektricky je 2,5 mm;
- nejmenší vzdálenost dvou pájecích otvorů elektricky nespojených je 5 mm;
- nejmenší vzdálenost dvou pájecích otvorů elektricky nespojených, mezi nimiž je protažen jeden vodič, je 7,5 mm. Na každý další protažený spoj se rozteč zvětšuje o 2,5 mm;



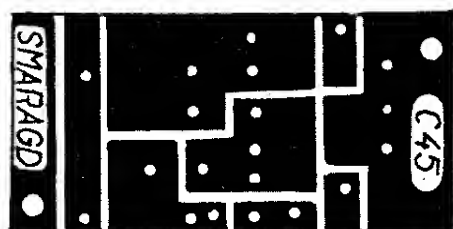
Obr. 40. Příklad obrazce plošných spojů, navrženého systémem spojových čar



Obr. 41. Příklad obrazce plošných spojů, navrženého systémem spojových čar

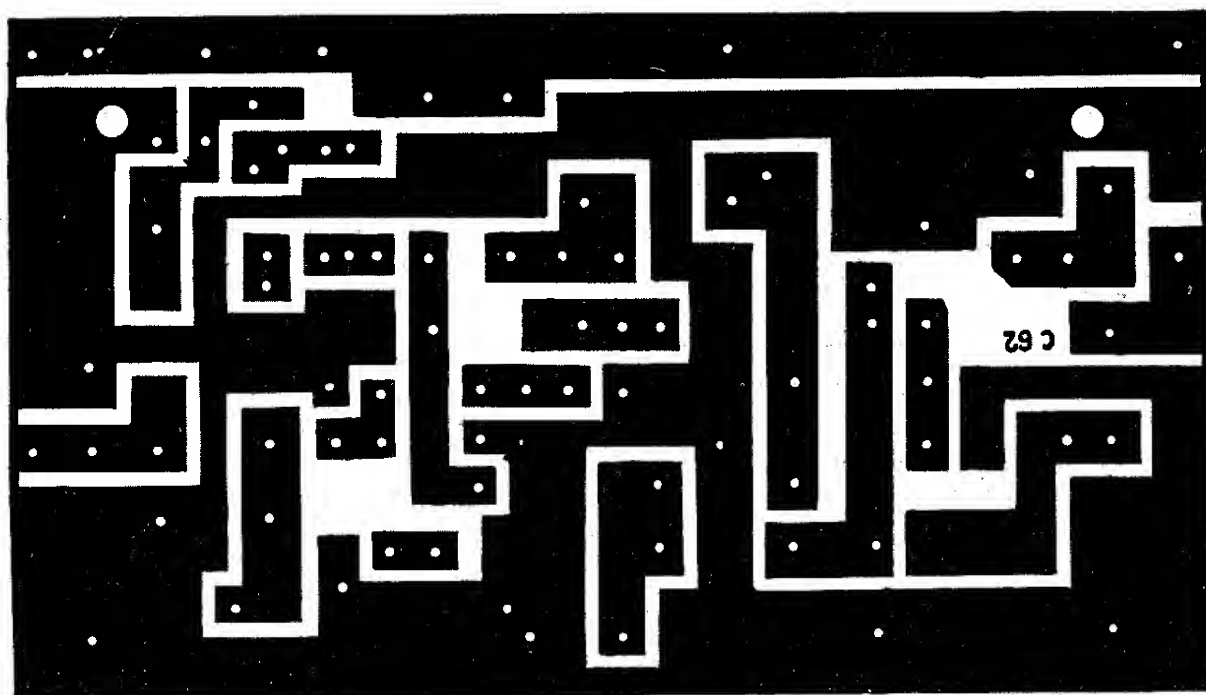


Obr. 42. Příklad obrazce plošných spojů, navrženého systémem dělicích čar

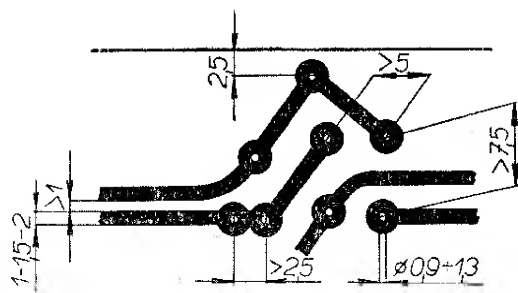


Obr. 43. Příklad obrazce plošných spojů, navrženého systémem dělicích čar

- u soustavy spojových čar se doporučuje volit šířku spojů 1 mm, 1,5 mm, 2 mm a výjimečně 3 a 6 mm;
- průměr pájecího bodu by měl být přibližně dvojnásobný, než je šířka spoje;
- u soustavy dělicích čar je šířka dělicí čáry minimálně 1 mm;
- otvory pro součástky mají průměr 0,9 až 1,3 mm;
- minimální vzdálenost pájecího bodu od kraje destičky je 2,5 mm.



Obr. 44. Příklad obrazce plošných spojů, navrženého kombinací dvou systémů



Obr. 45. Rozměry spojových čar a pájecích bodů při kreslení obrazce plošných spojů

Po nakreslení definitivního tvaru spojů nebo dělicích čar končí tato etapa vytváření plošných spojů, tj. návrh spojového obrazce. Nyní je zapotřebí přenést navržený obrazec do praxe, tzn. vytvořit vodivé spoje či plošky stejného tvaru, jaký jsme podle zásad této kapitoly navrhli. O způsobech praktického vytváření plošných spojů pojednává následující kapitola.

Použijeme-li jako rastr čtverečkováný papír, umísťujeme otvory pro vývody součástek pokud možno tak, aby byly v místech křížení čar rastru. Rastr 5 mm je však příliš hrubý, uvažujeme proto pomyslný rastr se vzdáleností čar 2,5 mm. U součástek s axiálními vývody umísťujeme otvory tak, aby součástky byly na destičce ukládány jen ve dvou na sebe kolmých směrech. Uspořádání je potom přehlednější i úhlednější z estetického hlediska.

Veškeré volné plochy, které se nepoužily pro spoje, spojíme navzájem a připojíme obvykle na společný pól napájení. Zmenší se tak jednak odleptávaná plocha, jednak se omezí možnost vazeb mezi jednotlivými obvody a v neposlední řadě se tím dosáhne i mechanického zpevnění desky. Na druhé straně velké souvislé plochy měděné fólie způsobují někdy deformování desky vlivem nestejné tepelné roztažnosti základního izolantu a mědi. Proto se tyto větší plochy mnohdy dělí šrafováním, nebo alespoň umístěním typového označení, čísla apod. Nesmí tím však být samozřejmě porušena elektrická souvislost plochy.

Pokud se na destičce vyskytnou spoje, přenášející vyšší napětí, zvětšíme izo-

lační mezeru mezi těmito spoji a ostatními okolními plochami a snažíme se, aby spoje byly co nejkratší. Stejně tak dbáme, aby spoje přenášející signály nízké úrovně měly co nejmenší plochu, aby se omezila možnost naindukování rušivých napětí a poruch. Platí to i u soustavy dělicích čar, kde by plocha, omezená dělicími čarami, měla být v těchto případech co nejmenší (např. plocha, na níž je připojena báze tranzistoru, řídicí mřížka elektronky apod.).

Je dobře vyhnout se souběžnému vedení dvou nebo více rovnoběžných spojů, pokud jimi protéká střídavý proud (je to možné u napájecích přívodů stejnosměrného napětí). Je-li to nevyhnutelné, protáhneme mezi nimi alespoň jeden spoj, spojený se společným pólem zdroje.

Praktické příklady, jak řešit rozmístění spojů na destičce, jsou v závěrečné části RK.

Výroba plošných spojů

V této části se seznámíme s několika základními způsoby, jimiž se plošné spoje zhotovují nebo zhotovovaly. Dnes nejrozšířenější metoda, tj. vytváření plošných spojů odleptáváním měděné fólie bude popsána podrobně. Dozvíte se, jak se povrchově upravuje hotová destička před použitím (nebo uskladněním) a jak a čím nejlépe vrtat otvory. Dále bude uvedeno několik jednoduchých způsobů, jimiž lze poměrně rychle a snadno zhotovit destičku s plošnými spoji doma, téměř „na koleně“. Pokud nechcete dělat destičky doma „na koleně“, dozvíte se, kdo to udělá za vás, tedy kde si můžete zhotovení destiček s plošnými spoji objednat. Kapitola bude zakončena receptárem emulzí a roztoků, potřebných k výrobě destiček s plošnými spoji.

V současné době je známo již přes dvacet různých způsobů výroby plošných spojů. Některé jsou si dost podobné, některé jsou nepraktické a proto se nepoužívají, jiné upadly v zapomnutí. Se sedmi hlavními způsoby se ve struč-

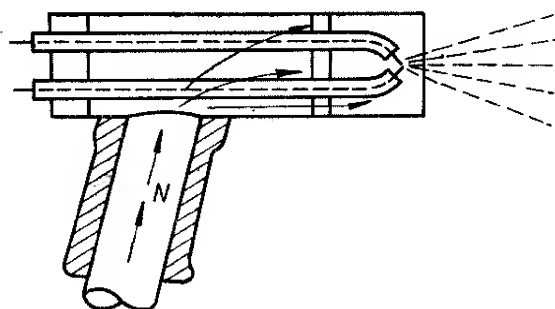
nosti seznámíme. Jsou seřazeny přibližně v tom pořadí, v jakém přicházely na svět.

Tisk plošných spojů vodivými barvami nebo laky

Je to na první pohled ideální způsob vytváření plošných spojů. Spoje jsou vytvořeny prakticky jedinou operací bez dalšího opracování. Při praktickém použití se však objevují značné nevýhody této metody. Je to malá elektrická vodivost, malá mechanická odolnost natištěného spoje a malá přilnavost spoje k podložce. Přestože i u nás se tímto způsobem začínalo – v roce 1950 byl takto „natištěn“ dvouelektronkový přijímač (i s odpory a kondenzátory), nyní se již tato metoda nepoužívá.

Vytváření spojů vypalovacími pastami a laky

Tento způsob je velmi dobře zpracován; využívá i dlouholetých zkušeností s vypalováním ozdob a ornamentů do skla a porcelánu. Již za druhé světové války byl tento způsob použit k vytvoření spojů na skle nebo keramice – ti z vás, kteří přišli do styku s inkurantními zařízeními německé výroby z druhé světové války, jistě znají bloky kondenzátorů z laděných obvodů oscilátoru z vysílače SK10, které jsou připájeny na keramické základní destičce a propojeny právě vpálenými stříbrnými spoji. Protože se ale vypalovací teploty pohybují



Obr. 46. Stříkáci pistole pro nanášení kovů na izolant

od 600 do 900 °C je tento způsob vhodný pouze pro anorganické základní materiály, jako je sklo, křemen, slída a keramika. Spoje se vytvářejí převážně stříbrem, poněvadž stříbro dokonale přilne k základní podložce a je poměrně levné.

Přímé nanášení kovů na izolant

Při této metodě se používá postupů známých mnohem dříve, než vlastní plošné spoje a používaných i v jiných oborech. Je to jednak nanášení roztavených kovů stříkáním, které vyvinul dr. Schopper roku 1910 a je po něm nazváno šopováním, potom je to nanášení kovů ve vakuu a to buď katodickým naprašováním nebo napařováním.

K nanášení kovů stříkáním se používají většinou stříkáci pistole. Kov, který má z pistole stříkat, přivádí se do ní ve formě drátu o průměru asi 1 až 3 mm, taví se kyslíkovým plamenem nebo elektrickým obloukem a stříká se stlačeným přehřátým vzduchem nebo dusíkem. Metalizační pistole pro drát tavený elektrickým obloukem je na obr. 46. Povrch, na který se kov stříká, musí být zdrsňen, a to nejlépe tak, aby drsnost povrchu byla v souladu s velikostí stříkaných zrníček kovu. Stříká se buď přes šablony a vytvářejí se tak přímo obrazce spojů, nebo se do izolantů předem vytvoří mělké drážky ve tvaru spojů a základní deska se potom přestříká celá. Po obroušení zůstane potom kov pouze v drážkách. Spoje jsou také více chráněny proti mechanickému poškození, ale spotřebuje se mnohem více materiálu. Kromě toho se také broušením poruší povrch základní desky, čímž se zhorší izolační odpor desky.

K nanášení kovů ve vakuu se používají dva způsoby – katodické naprašování nebo napařování. V obou případech probíhá pochod pod kovovým nebo skleněným zvonem. V prvním případě kov určený k vypařování tvoří katodu, anoda je z hliníku nebo z oceli. Potřebné vakuum je asi 10^{-2} mm Hg a mezi katodu a anodu se připojí napětí asi 500 až 20 000 V. Napařuje se po dobu asi 2 hodin a získá se vrstva asi $2,5 \cdot 10^{-6}$ mm. Jelikož je

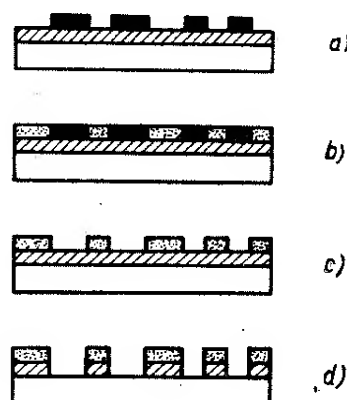
většinou zapotřebí tlustší vrstva, dodatečně se galvanicky pokovuje. Pokovování napařováním je jednodušší. Ve vyčerpaném prostoru se roztaví kov, který se začne vypařovat a usazuje na chladném povrchu těles, která jsou v prostoru umístěna. Pochod je velmi rychlý a lze s ním dosáhnout téměř stejných výsledků, jako s katodickým napařováním. Tímto způsobem se např. zhotovuje metalizovaný papír pro kondenzátory. Při obou popsáních způsobech se k vytvoření potřebného obrazce plošných spojů používá krycí šablona.

Chemické nanášení kovů a galvanické pokovování

Při tomto způsobu vytváření vodivých spojů se na základní destičku z izolantu nanáší chemickým způsobem tenká vrstva kovu. Nejčastěji se používá stříkací pistole se dvěma otvory; jedním se stříká např. roztok solí stříbra, druhým redukční roztok. Při reakci, která proběhne na základní podložce, se vyloučí kovové stříbro. Tím je celá izolační destička pokovena. Nyní se potiskne krycí barvou, a to tak, aby budoucí spoje zůstaly bez ochranného laku. Potom se v galvanické lázni zesílí místa, která nejsou chráněna lakem. Po odstranění ochranné tiskové barvy se odleptá jemná základní vrstva, která by jinak spojovala všechny části obvodu do zkratu.

Na podobném principu je založeno vlastní galvanické nanášení kovů. Za základ se používá nosná deska z izolantu, jehož jedna strana se obrousí a pečlivě očistí, aby se dosáhlo dobrého spojení aktivací vrstvy s izolantem. Potom se povrch desky aktivuje, tj. učiní vodivým. K tomu lze použít grafit, kovové stříbro v koloidní formě nebo roztoky stříbrných solí. Přes tuto vrstvu se negativně natiskne obraz spojů, tj. místa budoucích spojů zůstanou nepotíštěna. Tiskne se většinou sítotiskem. Potom se desky vloží do galvanické lázně a nanese se měď požadované tloušťky. Nakonec se rozpouštědlem odstraní tisková barva. Obtížnější je odstranění aktivací vrstvy. Aktivací vrstva se odstraní buď mecha-

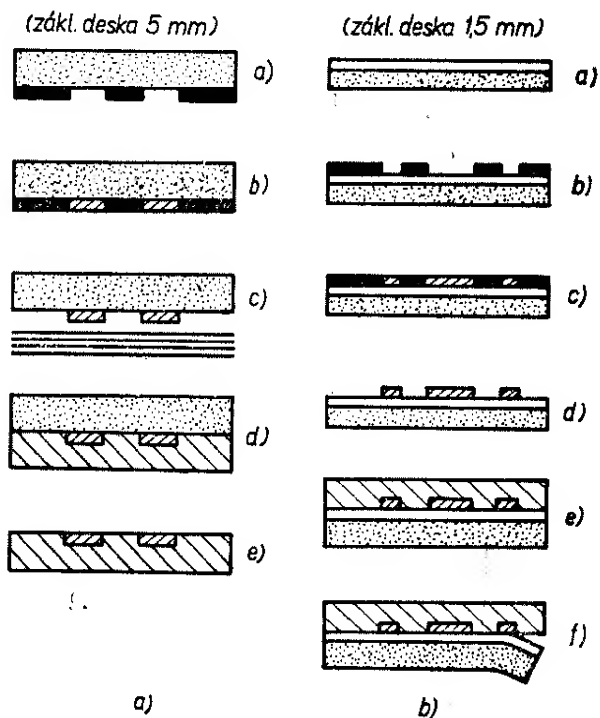
nicky, nebo chemicky, popřípadě se chemicky převede na nevodivou sloučeninu. Postup galvanického zhotovování plošných spojů je patrný z obr. 47.



Obr. 47. Výroba plošných spojů galvanickým pokovováním

Nepřímý způsob výroby plošných spojů

Nepřímé způsoby jsou zvláštním druhem galvanického vytváření spojů. Dva základní způsoby jsou znázorněny na obr. 48a, b. Na vyleštěnou desku z nerez



Obr. 48. Nepřímý způsob výroby plošných spojů

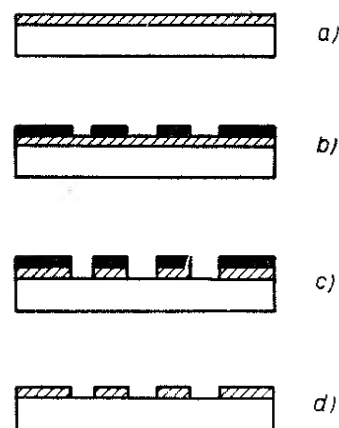
oceli se negativně natiskne obrazec plošných spojů barvou, která není rozpustná v mědicí lázni. Potom se potištěná deska zavěsí do pokovovací lázně a nechá se na nekrytých místech pokrýt vrstvou mědi potřebné tloušťky. Po vyjmutí z lázně se tisková barva smyje, čímž se na základní ocelové desce objeví plasticky vystouplé měděné spoje. Ty se sejmou buď impregnovaným papírem s lepivou pryskyřicí nebo se přímo zalisují (za tepla a tlaku) do ještě nevytvrzeného laminátu. Tento způsob se nazývá metoda se stílou katodou (obr. 48a). Druhý způsob, znázorněný na obr. 48b, se liší tím, že místo ocelové desky se používá tenká kovová fólie. Postup je stejný, až na závěr se po zalisování do laminátu fólie buď sloupne nebo odleptá. Protože se tím fólie zničí a lze ji tedy použít pouze pro jediný cyklus, nazývá se tento způsob metoda s dočasnou katodou (s katodou pro jediné použití).

Nepřímé metody mají mnoho výhod. Základní materiál – izolant – nepřijde do styku ani s leptacími činidly, ani s oplachovací vodou a zachová si tak velký izolační odpor. Nemá takřka žádný odpad mědi a spoje jsou zalisovány do roviny s povrchem izolantu a tím lépe chráněny proti mechanickému poškození.

Vytváření plošných spojů chemickým odleptáváním

Je to způsob, který se zatím nejvíce rozšířil. Jeho princip spočívá v tom, že požadovaný obrazec se získá odleptáním jisté části souvislé měděné plochy. Základním materiálem je laminátová deska, na níž se za tepla (většinou) přilepí tenká měděná fólie. Na tuto desku se vhodným způsobem přenesou obrazce plošných spojů tak, aby zůstala obnažena ta místa, kde nemá být měď. Poté se deska ponoří do odleptávací lázně a v obnažených místech se měděná fólie odleptá.

Obrazec plošných spojů se přenáší na základní desku ponejvíce třemi způsoby. Je to fotochemický způsob, sítotisk a ofsetový tisk. Princip chemického odleptávání při použití sítotisku jako reprodukční metody ukazuje názorně obr. 49.



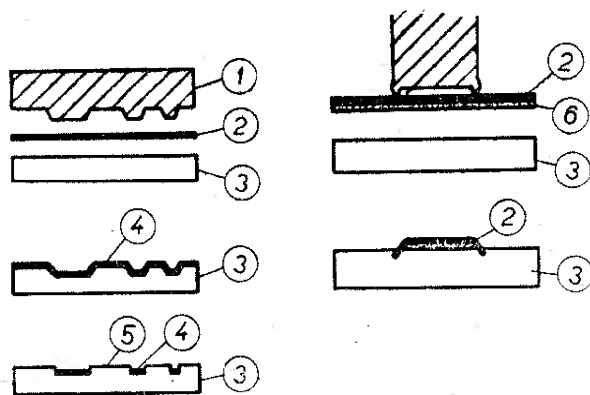
Obr. 49. Výroba plošných spojů odleptáváním měděné fólie

Celý způsob vytváření plošných spojů chemickým odleptáváním bude podrobně popsán v následující části, proto jej v tomto přehledu nebudeme dále rozepisovat.

Výroba plošných spojů ražením

Touto metodou se zhotovují plošné spoje ve větších sériích, protože je zapotřebí pro každý obrazec poměrně drahý základní nástroj – razník. Spoje takto zhotovené jsou nejméně tak kvalitní jako spoje získané chemickým odleptáváním a většinou je jakostí ještě předstihují.

Známe dva základní způsoby ražení plošných spojů. Buď se razí obrazec plošných spojů z měděné fólie jako samonosný celek a v další operaci se pak naplépí na základní desku z izolantu nebo se



Obr. 50. Výroba plošných spojů ražením

zároveň v jedné operaci vyrazí a zalisuje nebo zalepí do základní izolační desky, která se vkládá do lisu spolu s měděnou fólií. Dva způsoby výroby plošných spojů ražením s přímým zalisováním do izolantu jsou na obr. 50. Výhodou této metody je, že základní izolační deska nepříjde vůbec do styku s leptacími ani jinými roztoky a neuplatňuje se vliv lepidla mezi jednotlivými vodiči. Tím se zachová velký povrchový izolační odpor základního materiálu.

Výroba plošných spojů chemickým odleptáváním

Jak již bylo řečeno v úvodní části, je nejpoužívanější metodou výroby plošných spojů chemické odleptávání. Základním materiálem je deska z izolantu, na niž je naplátována měděná fólie. Obrazec plošných spojů se přenesení na tuto desku tak, aby zůstala zakryta místa, která budou tvořit plošné spoje; ostatní místa zůstanou nezakrytá. Takto připravená deska se potom ponoří do roztoku, který chemicky odleptá měděnou fólii z nezakrytých míst. Krycí materiál se potom z desky odstraní. Aby měděná fólie, vytvářející plošné spoje, nekorodovala, natírá se deska ochranným lakem, který ve většině případů slouží současně také jako pájecí prostředek.

Celý postup výroby se tedy dělí na několik částí. Začíná se výběrem vhodného základního materiálu. Kritériem je zde požadovaná mechanická a tepelná odolnost, elektrická vodivost, cena apod. Potom se podle předpokládaného počtu vyráběných kusů zvolí způsob přenosu obrazce plošných spojů na základní desku. Pro malý počet kusů je nejvhodnější fotografický způsob, který používá světlocitlivou emulsi nanesenou přímo na základní materiál. Pro středně velké série je vhodný sítotisk. Obrazec se přenesení na jemnou sítku tak, aby budoucí místa spojů zůstala průchodná. Přes sítku se potom nanáší na základní desku krycí barva. Pro velké série se může potom používat některá z běžných tiskařských technik, jako např. hlubotisk a nejčastěji ofset.

Je-li obrazec plošných spojů přenesen na destičku, je zapotřebí nepotřebnou měděnou fólii odleptat. Dnes se fólie leptá převážně v roztoku chloridu železitého s různými přísadami. Lze použít i zředěnou kyselinu dusičnou a další chemikálie, které rozpouštějí měď a nemají vliv na krycí barvu a základní materiál. Po odleptání se smyje krycí barva, destička se nalakuje ochranným lakem a ostříhne na požadovaný formát. Další opracování (vrtání) souvisí již s použitím destičky.

Jednotlivé části výrobního postupu teď probereme podrobněji. Budou popisovány především z hlediska praktického použití a uplatnění.

Základní materiál pro plošné spoje

Základní materiál pro výrobu plošných spojů se skládá ze tří částí, v konečném stavu tedy ze tří vrstev. Je to izolační deska, lepidlo a měděná fólie. Bylo vyzkoušeno a použito již mnoho druhů základních izolantů a jejich vývoj ještě zdaleka není ukončen. Používají se nejčastěji tyto typy:

a) Izolační materiály na bázi papíru

Jsou to vrstvené materiály z různých druhů papíru, nejčastěji natronových, sulfitových a v poslední době hlavně bavlněných a acetylovaných. Jejich vrstvy jsou spojovány fenolickými nebo epoxidovými pryskyřicemi. Pro výrobu plošných spojů lze použít jen materiály s malou nasáklivostí. Jednou z hlavních nevýhod těchto vrstvených materiálů je velký rozdíl v jejich tepelné roztažnosti a tepelné roztažnosti mědi. Proto se potom hotový plátovaný materiál prohýbá. Volíme je tam, kde nám jde o co nejnížší pořizovací náklady a kde nezáleží na rovinnosti desek (je to např. cuprexcart).



b) Lamináty ze skelných tkanin s epoxidovou pryskyřicí

Mají velmi dobré mechanické i elektrické vlastnosti, malou navlhavost a velkou tepelnou odolnost. Vzhledem k použitým surovinám, tj. skelným tkaninám a epoxidové pryskyřici jsou však podstatně dražší než izolanty nabázi papíru.

c) Lamináty se silikonovou pryskyřicí

Tento materiál se používá hlavně pro speciální vysokofrekvenční obvody, protože má malé dielektrické ztráty i při vyšších kmitočtech. Má také lepší tepelnou odolnost oproti materiálu s epoxidovou pryskyřicí.

d) Teflonové lamináty

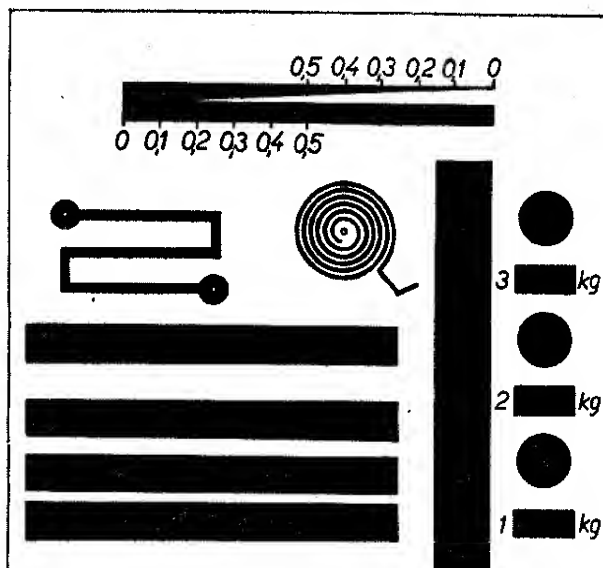
Je to velmi drahý materiál s vynikajícími elektrickými vlastnostmi. Téměř neavlhává a snese velmi vysoké teploty. Používá se vzhledem ke své ceně pouze ve speciálních případech; někdy se používá jenom čistý teflon.

Měděná fólie, která se používá pro vlastní plošné spoje, se vyrábí v principu dvojím způsobem: buď válcováním nebo galvanicky. Oba tyto způsoby mají své výhody a nevýhody. Válcovaná fólie je homogennější, její výroba je rychlejší. Naproti tomu jsou v ní mnohdy zalisovány drobné nečistoty, které posléze mohou způsobit přerušení spoje. Šířka fólie je omezena šířkou válcovací stoly. Fólie je z obou stran hladká, což je nevýhoda při jejím lepení na izolační desku. Galvanickým způsobem vyrobená fólie není tak homogenní, je z jedné strany hladká, vhodná k potištění, zatímco z druhé strany má matný povrch, který lze chemickou cestou udělat ještě hrubší. Vyrábí se přerušovaným nebo plynulým způsobem tak, že se na hladkém vyleštěném válci z chromniklové oceli galvanicky vyloučí vrstva mědi, která se potom sloupne, nebo se válec pomalu otáčí a vznikající fólie se z něho plynule odvíjí. Podrobný způsob výroby měděné fólie nebudeme popisovat, případní zájemci je najdou v literatuře.

Měděná fólie se lepí na základní izolační materiál trojím způsobem. Buď se na vlastní fólii přímo při její výrobě nanáší lepidlo, které se usuší – nanosená vrstva je okolo 50 μm , druhá možnost je vkládání lepidla ve formě tenké fólie mezi izolační desku a měděnou fólii – slisováním za tepla se měděná fólie přilepí na základní desku. V poslední době se nejčastěji používá spojování fólie s izolantem přímo při výrobě izolantu. Jako lepidlo poslouží epoxidová pryskyřice, potřebná k výrobě laminátu a žádné lepidlo se tedy nemusí přidávat.

V ČSSR se vyrábějí dva druhy materiálů pro výrobu plošných spojů. Prodávají se pod označením Cuprextit a Cuprexcart a výrobcem je n. p. Kablo Bratislava, závod Gumon v Bratislavě. Jejich vlastnosti ve srovnání s vlastnostmi některých zahraničních výrobků jsou patrné z tab. 2.

Pro posouzení vhodnosti a kvality jednotlivých materiálů se používají různé zkoušky k zjištění mechanické pevnosti, tepelné odolnosti, elektrických vlastností apod. Každá firma má většinou svůj základní typ tzv. zkušební destičky, na kterém se ověřují vlastnosti vyráběných materiálů. Vzhled destičky, která byla normalizována pro tyto zkoušky v ČSSR, je na obr. 51. V její horní části je zobrazen klín a klínovitá štěrbinata se



Obr. 51. Zkušební destička používaná v ČSSR

Tab. 2. Materiály pro výrobu plošných spojů

Označení	Výrobce	Země	Nasáklivost [%]	Pevnost		ε_r	tg δ	Měrný odpor		Pevnost fólie		Tepelná odolnost °C/5 s
				v tahu	v ohy- bu			povr- chový	vnitř- ní	v odlupo- vání	v kolmém odtrhu	
				[kp/cm²]				[Ω]		[kp/cm]	[kp/cm²]	
Cuprextit	Kablo	ČSSR	0,1	2 000	2 000			10 ¹¹	10 ¹¹	1	55	200
Cuprexcart A	Kablo	ČSSR	1,8	600	700	5	5.10 ⁻²	5.10 ¹⁰	5.10 ¹¹	0,8	50	250
Cuprexcart S	Kablo	ČSSR	1,8	600	700	5	5.10 ⁻²	5.10 ¹⁰	5.10 ¹¹	0,8	50	250
Dellite LA	Isola-Werke Breitenbach	Švýcarsko	7	2 100	1 400	5	3.10 ⁻²		5.10 ⁶	0,9	50	
SD	Izola-Werke Breitenbach	Švýcarsko	1,2	1 200	800	4	3.10 ⁻²		10 ⁸	1,46	55	
S/Pa	Izola-Werke Breitenbach	Švýcarsko	1,2	1 400	900	4	3.10 ⁻²		10 ⁸	1,2	50	
Vetronit	Izola-Werke Breitenbach	Švýcarsko	0,2	3 000	3 500	6	2.10 ⁻²		10 ⁷	1,2	50	
Getinax		SSSR								1,1		
Sklo + teflon		USA	0,2			2,8	6.10 ⁻⁴		5.10 ¹¹	1,3		200
XX fenolická		USA	1,3			5	3.10 ⁻²		10 ⁶	1,2	50	
XXXXP fenolická		USA	0,9			4	3.10 ⁻²		10 ⁸	1,2	50	
Delaron	Delaron London	Anglie	2,5					10 ¹²	10 ¹¹	1,4	75	

stupnicí v desetinách milimetru. Po odleptání se na tomto obrazci stanoví přesnost použité grafické metody a přímo na stupnici se přečte nejmenší dosažitelná šířka odleptané kresby. Vlevo pod označením destičky je obraz spoje definovaného průřezu a délky, na němž lze zkoušet proudovou zatížitelnost. Další čtyři pruhy vodičů jsou od sebe odděleny izolačními mezerami různé šířky. Na nich se měří rozptylové kapacity mezi dvěma vodiči a hlavně izolační odpor izolantu nebo lepidla před a po zkoušce navlhavosti. Dále je na destičce 10 mm široký svislý pruh, na němž se zkouší pevnost

v odlupování, čímž se určuje pevnost spojení měděné fólie s izolantem. Vpravo jsou tři kruhové plošky, k nimž se při zkoušce připájejí dráty a zjišťuje se pevnost v kolmém odtrhu po pájení. Na těchto ploškách se také dá zjišťovat odolnost proti tepelnému nárazu při pájení. Posledním obrazcem je kruhová cívka; u ní se měří indukčnost a činitel jakosti.



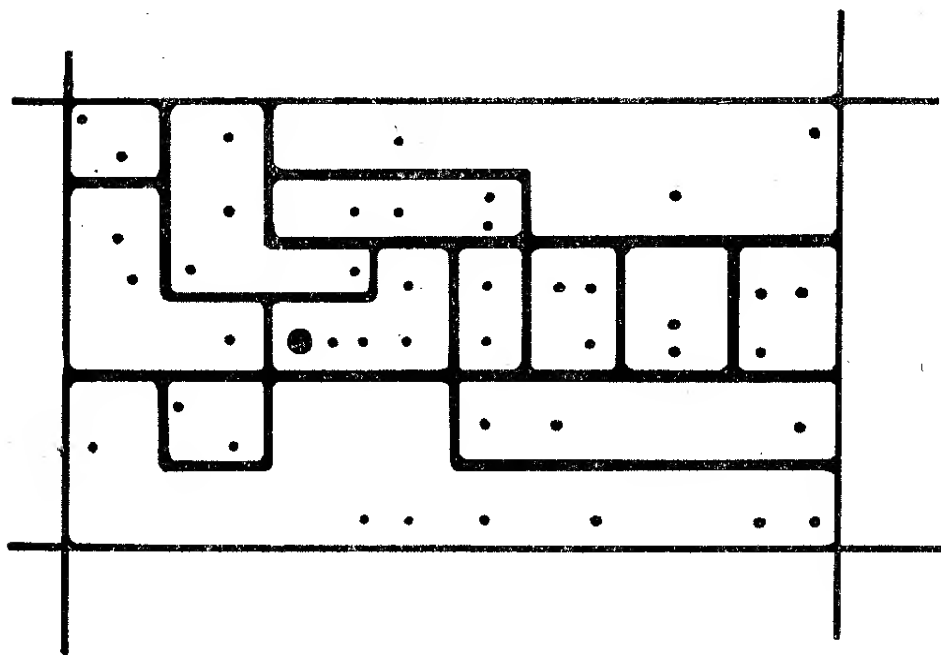
Přenesení obrazce plošných spojů na základní desku

Výroba klišé

Pro kterýkoli způsob přenášení obrazce je zapotřebí nejdříve zhotovit tzv. klišé, tj. přesný obraz požadovaných plošných spojů v měřítku 1:1 nejčastěji na filmu buď v pozitivním nebo negativním provedení. Postupuje se zpravidla tak, že se obrazec nakreslí ve zvětšeném měřítku 2:1 nebo 3:1 na hladký, nelesklý a rovný papír (čtvrtku). Není vhodný pauzovací papír, protože se pod většími plochami tuše smršťuje a jeho povrch není potom rovný. Jeho další nevýhodou je i značná smršťivost vlhkostí vzduchu, takže dochází ke změnám rozměrů celého obrazce. Nejvhodnější a nejdostupnější je dobrá kladívková čtvrťka nebo speciální kreslicí (křídové) papíry. Kreslíte-li na kladívkovou čtvrťku, buďte velmi opatrní v zacházení s ní a pokud možno se jí během kreslení rukama vůbec nedotýkejte. I na nepatrně umaštěném papíře se totiž tuš rozpívá a čáry potom vyjdou „chlupaté“. Celému výkresu je třeba věnovat velkou péči, protože jak bude obrazec nakreslen, tak bude nakonec vypadat hotová destička s plošnými spoji. Všechny kroužky děláme samozřejmě kružítkem (i otvory, které je třeba vyvrtat). Ve skutečnosti se dělají otvory na

součástky o průměru asi 1 mm, tzn. při zvětšení je to 2 až 3 mm a takové kroužky už lze velmi snadno kreslit nulátkem. Chcete-li, aby výsledek byl hezký i po estetické stránce, je třeba věnovat pozornost i grafické úpravě obrazce. Znamená to kreslit pokud možno všechny spoje stejně tlusté (pokud jde o obrazec vytvořený soustavou spojovacích čar), používat kružítko (nebo křívítko) i při změně směru rovného spoje, dbát na rovnoměrné vyplnění celé plochy destičky. Případné nápisy píšeme buď šablonkou nebo – což vypadá lépe – nalepíme na výkres tištěná vystřižená písmena. Veškeré opravy děláme bílou krycí tuší a pokud možno nikdy neškrábeme. Všechny větší plochy musí být rovnoměrně vykryty, aniž by někde prosvítal bílý povrch papíru. Nezáleží na tom, kreslíme-li výkres negativně nebo pozitivně; obvykle se volí ten způsob, který je výhodnější (méně kreslení). U soustavy dělicích čar je výhodnější kreslit obrazec negativně, tj. kreslit černě pouze dělicí čáry (obr. 52). U soustavy spojových čar kreslíme naopak obrazec spojů černě a místa bez fólie ponecháváme bílá.

Po nakreslení musíme obrazec zmenšit na skutečnou velikost a překopírovat na film, abychom dosáhli požadovaného negativního nebo pozitivního zobrazení. Nakreslený obrázek fotoaparátem nebo ve zvětšovací přístroji vyfotografujeme



Obr. 52. Negativní způsob kreslení podkladů pro zhotovení klišé

na tvrdý, hodně kontrastní materiál. Negativ potom promítneme ve zvětšovací přístroji na požadovaný rozměr opět na tvrdý, málo citlivý film. Nejlepší výsledky se dosahují s filmem ORWO FU5, lze použít s úspěchem i tzv. pérový film FOMA. Tím získáme klišé v konečné podobě. V případě, že potřebujeme opačné krytí, tj. aby černá místa byla bílá a naopak, okopírujeme toto klišé kontaktním způsobem opět na pérový film.

Pokud obrazec nemusí být extrémně přesný a „hezký“, je možné nakreslit ho přímo v měřítku 1:1 a okopírovat kontaktně – bez fotografování – přímo na pérový film. Tento způsob je rychlejší, i když mnohem věrněji zobrazí všechny nedostatky výkresu. Tímto způsobem se vyráběly negativy např. v radioklubu Smaragd po dobu dvou let a na kvalitu výrobků si nikdo nestěžoval.

Při fotografickém zpracování negativů musíme dbát hlavně na to, aby byly výhradně černobílé, tj. aby na nich nikde nebyly šedé šmouhy nebo naopak řídká místa. Všechny tyto vady se totiž promítnou při vlastní výrobě na destičku a po odleptání se objeví v podobě nežádoucích kazů, děr a můstků. Při pečlivém zacházení s klišé je jeho použitelnost prakticky neomezená. Vyrábíme proto vždy jen tolik negativů, kolik jich potřebujeme, protože materiál pro jejich výrobu – pérový film – je poměrně drahý.

Takto zhotovené klišé můžeme použít ke každému ze tří dále uvedených způsobů přenášení obrazce na desku základního materiálu. První dva způsoby budou popsány podrobněji, protože přicházejí v úvahu i pro amatérské použití, třetí způsob – ofset – bude popsán pouze informativně.

Fotografický způsob přenosu obrazce

Princip fotografického přenosu na desku základního materiálu spočívá v tom, že na tuto základní desku naneseme světlocitlivou vrstvu, na kterou potom obvyklým fotografickým způsobem naexponujeme požadovaný obrazec. Po vyvolání a utvrzení lze desku odleptávat.

Světlocitlivých vrstev, kterých je možné použít k výrobě plošných spojů, je mnoho. Lze je v zásadě rozdělit na dva základní druhy:

1. Klasický světlocitlivý materiál založený na principu chromovaných koloidů, jehož světlocitlivé vrstvy jsou nestabilní (nelze je dlouho skladovat).

2. Novodobý světlocitlivý materiál založený na fotochemických reakcích organických látek, kde vrstvy jsou dlouhodobě stabilní.

Klasický světlocitlivý materiál má mnoho nedostatků. Nelze jej skladovat v naneseném stavu (na desce z izolantu), je nutné jej připravovat před každým nanášením individuálně a tím nelze zaručit pokaždé stejné vlastnosti, má na něj velký vliv prostředí, ve kterém světlocitlivá vrstva vzniká, celý pochod je zdoluhavý a ekonomicky neefektivní.

Novodobé světlocitlivé vrstvy jsou stabilní a nepodléhají rozkladu. Lze je proto delší dobu skladovat nanesené na podložce. Zatímco u klasických – chromovaných – látek lze získat vždy jen negativní obraz (osvětlená místa se vytvrdí a ostatní vymyjí vývojkou), u novodobých materiálů lze získat jak negativní, tak pozitivní obraz. Návodů ke zhotovení některých světlocitlivých emulzí, většinou první kategorie, jsou uvedeny v receptáři na konci této části RK.

Deska z izolantu, na kterou se světlocitlivá vrstva nanáší, se musí nejdříve velmi dobře očistit a odmastit (obr. 53). Lze k tomu použít zředěnou kyselinu solnou, mycí prášky na nádobí, k odmaštění pak vídeňské vápno nebo technický benzín. V případě silně znečištěné desky lze použít i mechanické čisticí prostředky, jako je např. smirkový papír (jemný). Deska je dostatečně očištěna, pokud se na ní po namočení do vody vytvoří jednolitý a nenarušený vodní film. Po důkladném opláchnutí čistou vodou lze přikročit k nanášení emulze.

Nejdokonalejší nanesení emulze se dosáhne v odstředivce. Po upnutí desky do odstředivky se na ni doprostřed nalije trochu světlocitlivé emulze a odstředivka se roztočí. Emulze se rovnoměrně rozptýlí



Obr. 53. Čištění
desky základního
materiálu

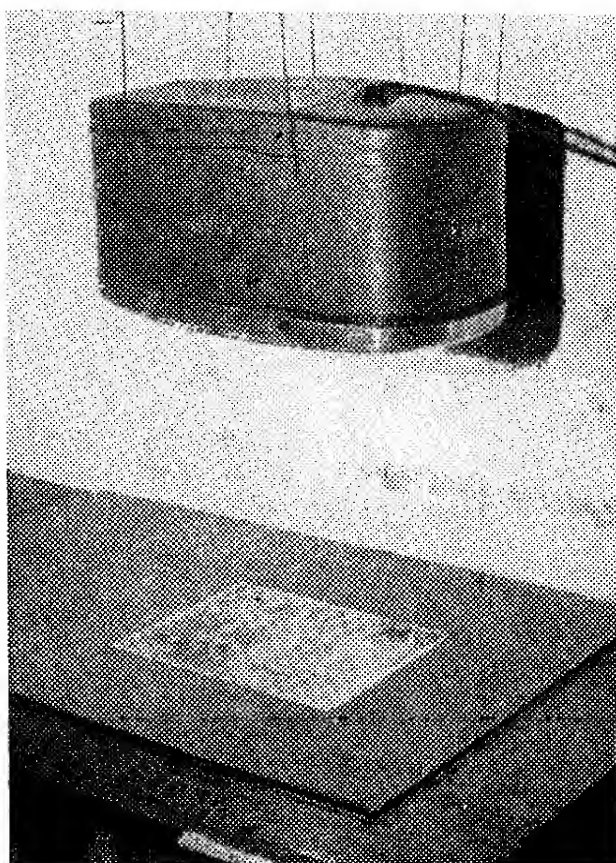
po celé ploše desky a přebytečná odteče z okrajů. Pochopitelně k výrobě několika kousků destiček s plošnými spoji si nebudeme pořizovat odstředivku. Lze ji částečně improvizovat např. gramofonem, popřípadě lze desku do emulze pouze namočit nebo emulzi nanést štětcem. Po nanesení emulze se deska dá sušit. Sušicí pochod můžeme odbýt buď přímo v odstředivce – pokud má vlastní vytápění – nebo mimo ní proudem teplého vzduchu. V malém měřítku poslouží velmi dobře fén na vlasy. Vlastní odstředování v nevytápěné malé odstředivce trvá při rychlosti otáčení okolo 50 ot/min. asi 5 až 10 minut, sušení při této rychlosti otáčení trvá dalších 15 až 20 minut. V případě, že nechceme desky s nanesenou emulzí použít hned, nemusíme je zcela dosušovat – stačí je umístit na tmavé místo, kde během jedné až dvou hodin doschnou samy.

Během nanášení emulze je třeba dávat pozor na to, aby se na desce nevytvořily z emulze bubliny; popř. aby se na ni nedostaly nějaké nečistoty. To všechno by potom vytvořilo kazy. Při odstředování se vytvářejí v rozích desky silnější nánosy emulze, které potom pomaleji schnou a brzdí celý výrobní pochod. Proto je výhodné občas přebytečnou emulzi z rohů desky odstranit. Během sušení a po usušení nesmí na nanesenou emulzi přijít voda, která ji ve většině případů (podle chemického složení emulze) rozpouští. Desky

z emulzí se také pochopitelně musí chránit proti mechanickému poškození.

Nové světlocitlivé látky umožňují výrobu desek již s nanesenou emulzí, která je dlouhodobě stálá. Tyto desky lze nejméně rok skladovat. U nás se vyrábějí pod označením Diazolith a výrobcem je ZPA Nový Bor. Emulze na těchto deskách pracuje obráceně, tj. klišé musí být pozitivní. Při použití těchto desek tedy celý první krok, tj. nanášení emulze, odpadá.

Světlocitlivou emulzi vhodnou k výrobě plošných spojů vyrábí spolu s ostatními potřebnými roztoky n. p. Grafotechna. Má označení Sensibilovaná emulze „M“ (červená), popř. Sensibilovaná emulze „T“ (zelená). Z (litrové láhve (ve kterých se emulze prodává), je vhodné odlít potřebné množství do kádinky a nechat ustát, aby se odstranily případné vzduchové bubliny. Z této kádinky potom emulzi naléváme na očištěnou a odmaštěnou desku základního materiálu. Přebytečnou emulzi, která z desky odteče, můžeme znovu ještě několikrát použít. Emulze je sice stále řidší, protože se rozřeďuje vodou, která ulpí po mytí na deskách cuprextitu; na její funkci to však nemá vliv. Před dalším použitím je však nutné emulzi přecedit přes husté plátno, aby se z ní odstranila případná smítka a kousky zaschlé emulze. Protože kolem uzávěru láhve se často vytvoří také naschlé šupin-



Obr. 55. Exponování obrazce plošných spojů na světlocitlivou vrstvu

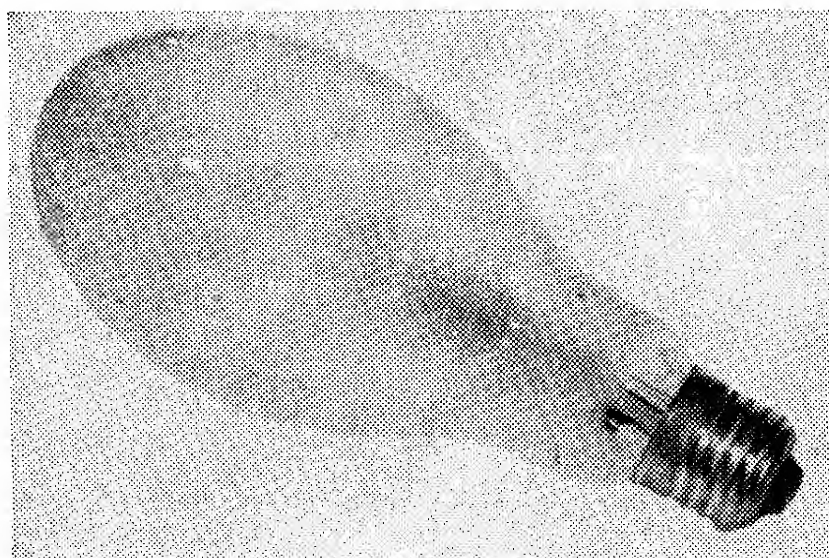
ky emulze, je výhodné cedit emulzi i před prvním použitím.

Jsou-li desky s nanesenou emulzí suché, přistoupíme ke kopírování obrazce z klišé na desku. Desku položíme na rovnou

podložku emulzí nahoru, přiložíme na ni klišé (negativní nebo pozitivní, podle použité světlocitlivé vrstvy – viz obr. 54 na IV. straně obálky) a přikryjeme rovnou skleněnou tabulkou (obr. 55). Aby došlo k přesnému překopírování obrazce, je nutné klišé dokonale přitisknout na světlocitlivou vrstvu. Používá se k tomu pneumatických nebo mechanických rámců. V malém měřítku lze použít fotografických rámečků, nebo jenom vhodně zatížit okraje krycí skleněné tabulky, která by měla být o mnoho větší než překrývaná deska. Kdyby se klišé dokonale nepřitisklo na světlocitlivou vrstvu, byly by okraje kopírovaných čar neostré a některé malé díry a body by se vůbec nekopírovaly, protože by se pod ně dostalo světlo.

Musíme dbát, aby používaná klišé byla stále čistá, bez smítek a kazů. Nesmí se ušpinit od světlocitlivé emulze (tím, že se třeba přilepí na nedosušená místa), protože takto znečištěná místa potom nepropouštějí světlo. Proto každé klišé před použitím pečlivě prohlédneme.

K expozici používáme zdroje intenzivního světla s obsahem ultrafialových paprsků. Nejvhodnější jsou výbojky (obr. 56) používané v horských sluníčkách, v poličném osvětlení ap. Vyhovují i žárovky používané ve fotografické praxi nebo oboukové lampy. Pro amatérskou potřebu je nejvhodnější malé horské sluníčko. Dobu expozice a vzdálenost světelného



Obr. 56. Výbojka RVM125

zdroje od desky musíme vyzkoušet experimentálně. Vzdálenost se pohybuje mezi 30 až 80 cm, doba expozice mezi 10 až 25 minutami. Doporučujeme vhodně zastínit pracoviště, protože silné světelné paprsky škodí lidskému zraku.

Při použití fotografických infražárovek musíme dbát, aby nedocházelo k nadměrnému ohřívání klišé a základní desky se světlocitlivou emulzí. Emulze potom praská, odlupuje se a vytváří nežádoucí kazy. Ani při použití výbojkového osvětlení není ohřátí zanedbatelné, i když je podstatně menší než u „teplého“ světla žárovek. Volíme proto raději delší dobu osvětlení z větší vzdálenosti.

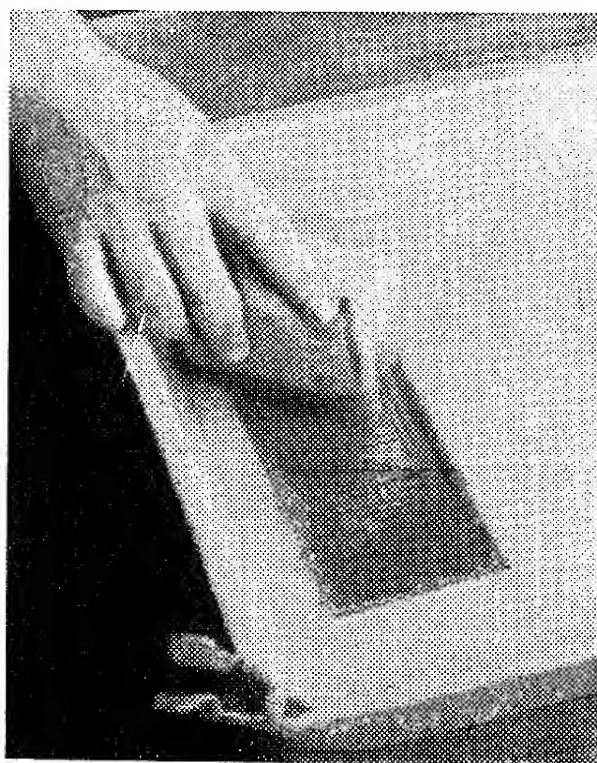
Při veškerém zacházení se světlocitlivou emulzí a později s deskami opatřenými její vrstvou se snažíme nevystavovat ji silnému světelnému záření. Emulze není moc citlivá na normální umělé světlo – celý nanášecí pochod lze dělat v místnosti osvětlené jednou žárovkou 60 W. Samotnou emulzi skladujeme v tmavých chladných prostorách a desky se světlocitlivou vrstvou nevystavujeme dennímu světlu. Desky s nanesenou emulzí lze bez úhony skladovat 24 hodin ve tmě; delší skladování se již projeví na citlivosti emulze a její schopnosti rozpouštět se ve vývojce.

Po ukončení expozice je nutné světlocitlivou vrstvu vyvolat. Používají se k tomu různé roztoky (podle složení citlivé vrstvy). Při použití sensibilované emulze M nebo T (Grafotechna) vyvoláváme pozitivní vývojkou téhož výrobce. Desku uložíme do mělké misky a polijeme vývojkou, kterou necháme asi 30 vteřin v klidu působit. Potom nejlépe molitanovou houbičkou jemně vymýváme neosvětlená místa (obr. 57), až se začne objevovat růžová měděná fólie (na rozdíl od zlatožluté emulze na osvětlených místech). Celý pochod trvá přibližně 5 minut a po jeho ukončení musí být všechna neosvětlená místa dokonale zbavená emulze. V tomto stavu také poprvé kontrolujeme obrazec. Případné kazy můžeme odstranit vykrytím speciální vykryvací barvou, případně tuší na astralon i vhodně zředěnou acetonovou barvou a desku necháme oschnout.

Při použití klasických světlocitlivých materiálů je postup přibližně stejný, ale

k vyvolávání používáme jiné roztoky. Některé z nich jsou uvedeny v receptáři.

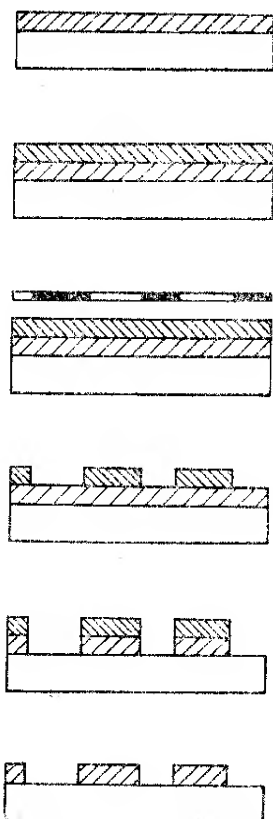
Aby emulze, kryjící místa budoucích spojů, dokonale odolávala leptacímu roztoku, osvětluje vyvolanou desku ještě asi po dobu 5 minut pod stejným světelným zdrojem, pod kterým byla exponována. Emulze se tak dokonale vytvrdí. Tuto etapu výrobního postupu lze také realizovat tak, že vyvolané desky necháme volně ležet na denním světle nebo na sluníčku. Doba osvětlení není kritická. Klasické světlocitlivé materiály nejsou po vyvolání dost odolné proti leptacímu roztoku a je nutné získanou vytvrzenou vrstvu nějakým způsobem zesílit. Používá se např. černá tisková barva, která se před vyvoláním nanese válečkem na celou plochu desky. Vrstva musí být rovnoměrná a bez nečistot. Teprve potom se deska vyvolává (u chromovaných emulzí nejčastěji vodou) a přitom se z neosvětlených míst odst. aní nanesená barva i s neosvětlenou emulzí. Na místech budoucích spojů zbyde tedy nanesená barva, jejíž vrstva se případně ještě zesiluje další vrstvou asfaltového prášku nebo talku s kalafunou.



Obr. 57. Vyvolávání exponované vrstvy světlocitlivé emulze

Spolehlivé výsledky dává také tzv. dvouvrstvý pochod, i když se používá celkem zřídka. Na očištěnou desku cuprexitu se nanese vrstva laku, odolného proti leptacímu roztoku. Přes ní se potom nanáší světlocitlivá emulze. Po expozici a vyvolání se vhodným rozpouštědlem odstraní lak z obnažených míst a posléze opět vhodným prostředkem i ostatní zbytky světlocitlivé emulze. Na desce zůstane tedy pouze lak v těch místech, která mají být uchráněna před leptacím roztokem a tvořit budoucí spoje. Schematicky je pracovní postup vyznačen na obr. 58. Složení ochranného laku a ostatních chemických roztoků je opět uvedeno v receptáři.

Vytvrzováním končí ta část výrobního postupu plošných spojů, v němž se přenáší obrazec plošných spojů z klišé na cuprexitovou desku. Popsaný fotografický způsob je poměrně jednoduchý, obejde se bez náročnějšího vybavení a je realizovatelný i v amatérských podmínkách.

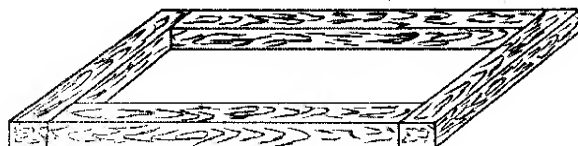


Obr. 58. Přenos obrazce dvouvrstvovým procesem

Sítotiskový způsob přenosu obrazce

Přenos obrazce plošných spojů sítotiskem je druhou a (možná někde nejrozšířenější) nejznámější metodou při výrobě plošných spojů. Princip spočívá v tom, že obrazec plošných spojů se z klišé přenesne na jemnou hedvábnou, silonovou nebo i kovovou sítku tak, že místa, která mají být na hotové destičce s plošnými spoji odleptána, musí být na síťce „ucpána“. Přes sítku se potom protlačuje barva, která na destičce základního materiálu vytvoří obrazec budoucích plošných spojů.

Jemná síťka z hedvábí, silonu nebo fosforbronzu je napnutá na dřevěném nebo kovovém rámečku (obr. 59). Musí být dokonale napnutá a nesmí se při potiskování uvolňovat. Nejjednodušší je dřevěný rámeček. Síťka se před napnutím namočí



Obr. 59. Rámeček na sítku pro sítotisk

a k rámečku se připevňuje např. kancelářskou sešívačkou. Po uschnutí se síťka ještě sama vypne. Vzhledem ke své jednoduchosti a minimálním pořizovacím nákladům se tento způsob hodí pro amatérské použití.

Při sériové výrobě se sítky napínají lištami, pneumatickými přípravky apod. Do kovových rámečků, které se obvykle skládají ze dvou částí, se síťka upíná tak, že se založí mezi obě části rámečku, přičemž je na obou stranách podložena měkkou lepenkou. Po dokonalém sešrobování se tento rámeček připevní k dalšímu rámečku, přes jehož hrany lze dále sítku napínat.

Obrazec plošných spojů lze na sítku přenést dvěma způsoby – přímým a přenosovým. Při prvním způsobu se světlocitlivá vrstva nanáší přímo na sítku, v druhém případě se k vytvoření obrazce používá pigmentový papír a celuloidová fólie. Oba tyto způsoby si popíšeme podrobněji.

Přímý způsob přenosu obrazce na sítku

Šablona se vytváří přímo na napjaté síťce. Lze použít sítky hedvábné i kovové, rovněž sítky silonové. Napjatá síťka se pokryje tenkou vrstvou světlocitlivého roztoku. Stejně jako při nanášení světlocitlivé emulze na cuprexit, je i zde nejlepší nanášet emulzi v odstředivce. Dosáhne se tak naprosto rovnoměrné a tenké vrstvy. Jelikož odstředivka nebude zřejmě v amatérském prostředí k dispozici, lze síťku natřít z vnější strany širokým plochým štětcem. Počítá-li se s velkým počtem otisků, je vhodné natřít síťku z obou stran.

Jako světlocitlivá emulze slouží zcitlivý roztok želatiny. Přípravuje se ze dvou roztoků těsně před použitím. Roztoky A a B (viz receptář) smícháme v poměru 10:1. Natěr musí být rovnoměrný a bez kazů. Natřenou síťku sušíme ve vodorovné poloze, ne déle než jednu hodinu.

Po usušení světlocitlivé vrstvy položíme rámeček se sítkou na podložku, na síťku přiložíme diapozitiv obrazce plošných spojů a zatížíme čistou skleněnou deskou. Exponujeme stejně jako při fotochemickém způsobu přenášení obrazce, tj. nejlépe výbojkou ze vzdálenosti 50 až 70 cm po dobu 15 až 20 minut. Exponovaná síťka se vyvolává ve vodě teplé asi 35 až 40 °C pod dobu 15 až 20 minut. U některých druhů želatiny se vyvolání urychlí použitím teplejší vody. Po dokonalém vymytí želatiny z míst, v nichž nemá být, se šablona vytvrdí v roztoku kamence (25 ml 10% roztoku kamence chromitého na 1 l vody). Po oprání v čisté vodě a usušení je šablona připravena k použití.

Hotové roztoky pro tento způsob zhotovování šablony vyrábí n. p. Grafo-techna.

Pracovní postup pro zhotovení tiskové formy (síta) pro sítotisk s použitím přípravků Grafolit

Reprodukční přípravky Grafolit pro sítotisk jsou provozně ověřené přípravky standardní kvality. Používají se pro zhotovení tiskové formy na všechny běžně používané síťové tkaniny jako silonové, nylonové, perlonové, fosforbronzové, z lego-

vané oceli apod. Při dodržení uvedených základních pracovních postupů se dosáhne formy s jakostními tiskovými vlastnostmi.

Pracovní postup se skládá ze čtyř základních operací:

1. Příprava síta

Síto napnuté na rám je třeba zbavit všech chemických i mechanických nečistot. Na dobré přípravě síta závisí jak provedení kopie, tak i trvanlivost a kvalita tisku.

Síto se čistí desetiprocentním roztokem hydroxidu draselného, který se na síto nalije. Měkkým silonovým kartáčem se síto důkladně vymývá po obou stranách. Po vymytí se dobře opláchne vodou a přelije desetiprocentním roztokem uhličitanu sodného (soda) a jiným kartáčem dále vymývá. Na konec se síto důkladně vystříká vodou a usuší.

2. Nanesení světlocitlivé vrstvy

Světlocitlivá emulze se dodává ve dvou roztocích (A a B). Potřebný roztok se získá smícháním 90ti dílů emulze A s osmi díly emulze B (např. 900 ml roztoku A + 80 ml roztoku B). V porcelánové nebo skleněné misce se roztoky dobře promíchají. Doporučuje se připravit tento pracovní roztok jeden den před použitím a zpracovat nejdéle do tří dnů.

Světlocitlivá emulze se nanáší na síto, připravené podle předchozího postupu, korýtkem z plastické hmoty nebo ze dřeva. Nanášecí hrany korýtka musí být rovné a neostré, aby se nepoškodila tkanina síta. Při nanášení emulze je síto ve svislé poloze. Po nanesení emulze na celou plochu se síto otočí o 90° a nanáší se křížem ve stejnoměrné vrstvě. Je nutné vyvarovat se stékání kapek z okraje síta a rámu.

Je vhodné nanášet emulzi z obou stran síta, dosáhne se tak stejnoměrnosti vrstvy; ta je pak odolná proti mechanickému opotřebení a poškození při vlastním tisku. Po nanesení emulze se rám upne do odstředivky předem vyhřáté na 35 až 40 °C, odstředivka se uzavře a při 40 až 60 ot/min

a uvedené teplotě se emulze suší po dobu asi 10 min.

Použití odstředivky je velmi výhodné, neboť se v ní vyrovnají nerovnosti nánosu emulze a vrstva se stejnoměrně usuší, což je důležité pro vlastní reprodukci.

Síta menších rozměrů lze v nutném případě sušit teplým vzduchem (fénem), přičemž síto musí být stále ve vodorovné poloze. Po usušení vrstvy je síto připraveno ke kopírování.

Se světlocitlivou emulzí i se sítem s nanesenou vrstvou je třeba pracovat jen při nepřímém osvětlení.

3. Kopírování

K dosažení dobré kopie se hodí pouze předlohy (diapozitivy) s dobrým krytím kresby a dobrou transparentností podložky. Nejvhodnější jsou fotografické kontrastní pozitivy, hrubší a plošné kresby lze reprodukovat i z jiných předloh, např. z kreseb tuší na průhledné podložky jako je astralon, diofán, celofán atd. Tyto varianty si jistě každý vyzkouší podle vlastních požadavků na kvalitu tisku.

Síto s nanesenou světlocitlivou vrstvou se položí na ideálně rovnou podložku z pružné látky (pěnová pryž apod.), tmavě až černě zbarvenou. Na síto se přiloží předloha (diapozitiv) obrazovou stranou a zatíží se po celé ploše tlustším sklem (10 mm), aby celou svou plochou dobře přilnula k sítu. Pro jemné kresby je vhodné použít dvě skla – spodní tenké, vrchní tlusté. Použitá skla musí být zrcadlová, bez bublinek a mechanických poškození. Je-li předloha dobře přitisknuta na síto, osvětlí se. Doba osvitu je závislá na intenzitě světelného zdroje a jeho vzdálenosti od světlocitlivé vrstvy. Důležité je, aby zdroj byl dostatečně intenzivní a dával bílé světlo. Nejvhodnější je bodová uhlíková lampička 30 až 60 W. Při použití tříuhlíkové obloukové lampičky 60 W a vzdálenosti lampičky 70 cm od citlivé vrstvy se osvětluje 5 až 7 minut. Při použití jiných zdrojů je třeba dobu expozice stanovit individuálně, nejlépe tak, že se postupným zakrýváním jedné vrstvy vyzkouší několik expozic s rozdílem asi po dvou minutách. Po vyvolání se zjistí nejvhodnější rozmezí.

4. Vyvolávání

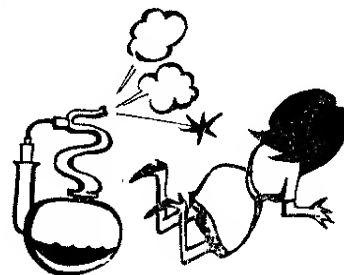
Po osvitu se síto položí vodorovně do vyvolávací vany a polévá se po celé ploše studenou vodou (slabým proudem kroupičky). Při tomto postupu neosvětlená místa vrstvy (v místech kresby) nabobtnají, později se rozpouští, až voda protéká obnaženými místy síta. Po 2 až 3 minutách je síto v místech kresby zbaveno emulze. Pro lepší kontrolu se na vyvolané síto nanese širokým plochým štětcem barvicí roztok, kterým se osvětlená místa zbarví sytější červeně, zatímco vyvolaná místa se nezbarví. Po kontrole vyvolání se síto postaví svisle a kresba se vystříká proudem vody teplé 40 až 60 °C. Tím se síto v místech tiskové kresby pročistí a zajistí se dobrá propustnost barvy a ostrý tisk. Nakonec se celá kopie dobře vystříká studenou vodou, vloží do vyhřáté odstředivky a usuší.

Hotovou kopii prohlédneme proti světlu a pokud se na ní zjistí stopy nečistot z předlohy, které jsou pro tisk nežádoucí, vykryjeme je nanesením vykryvacího roztoku štětečkem, vykrytá místa usušíme, případně dosvětlíme.

Takto připravené síto je schopné tisku. Při tisku je možno použít všechny druhy barev (olejové, termezové, acetonové). Při tisku vodovými (temperovými) barvami je třeba kopii dodatečně zahřívat asi 10 minut při teplotě 80 °C, aby vrstva barvy byla dostatečně odolná.

Odvrstvení síta

Po ukončení tisku se síto dobře vymyje a zbaví všech zbytků barvy. Čisticí prostředek se volí podle druhu použité barvy. Síto se potom namočí na 2 až 3 minuty do teplé vody, pak se vrstva polije pětiprocentním roztokem hypermanganu. Po nabobtnání se vrstva posype pyrosiřičitanem draselným a nechá asi 2 min. v klidu. Vrstva se potom odstraní vodou a silonovým kartáčem. Když jsou všechny zbytky vrstvy odstraněny, vy-



stříká se síto vodou a usuší. Pro další použití se síto připravuje opět podle článku 1 pracovního postupu.

Přípravky Grafolit se vyrábějí a dodávají pod tímto obchodním označením:

620 – Kopírovací emulze pro sítotisk, roztok A.

621 – Kopírovací emulze pro sítotisk, roztok B.

622 – Barvicí roztok pro sítotisk.

623 – Vykrývací roztok pro sítotisk.

Lze je objednat na adrese: Grafotechna, na. p., Sokolovská 50, Praha 8.

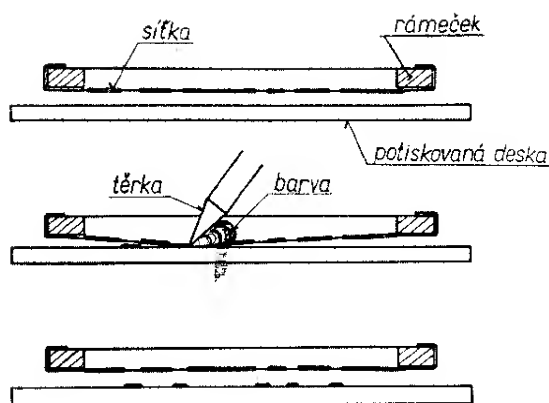
Nepřímý způsob přenosu obrazce na sítku pomocí pigmentového papíru

Jako pomůcka pro tento způsob přenosu obrazce plošných spojů na sítku slouží tenká celuloidová fólie nebo starý smytý film, zbavený prachu, nečistot a kazů. K vlastnímu přenosu se používá pigmentový papír, známý např. pod názvy Autotype paper G21, 22 apod. Papír se skladuje v kotoučích uzavřených v kovovém pozdru. Není citlivý na světlo; zcitlivuje se příslušným roztokem až těsně před použitím. Zcitlivovací roztok dvojchromanu (viz receptář) je trvanlivý, uschovává-li se v hnědé láhvi; před použitím se ředí vodou v poměru 1 : 4. Při zcitlivování pigmentového papíru je nutné dodržet teplotu zcitlivovacího roztoku asi 15 °C.

Na čistou celuloidovou fólii položenou na podložce nanese jemným hadříkem nebo vatou tenkou vrstvu preparačního roztoku (viz receptář). Fólii potom otřeme do sucha. Příliš tlustý nános preparačního roztoku může způsobit odlupování pigmentového papíru z fólie, naopak příliš tenká vrstva způsobí přilepení exponovaného a vyvolaného papíru na fólii. Po preparaci se nechá fólie na vzduchu oschnout. Při tlumeném žlutém světle se na odstrižek pigmentového papíru nalije patřičný zředěný zcitlivovací prostředek. Tuto operaci děláme nejlépe ve fotografické misce, trvá asi 3 minuty a její ukončení poznáme podle toho, že se původně zkroucený pigmentový papír narovná. Papír se vyjme, nechá se okapat a ještě mokrá se přitiskne na preparovanou stra-

nu celuloidové fólie. Na papír spojený s fólií se přiloží několik vrstev filtračního papíru a pryžovým válečkem se vytlačí přebytečná tekutina. Mezi pigmentovým papírem a celuloidovou fólií nesmí zůstat vzduchové bublinky a druhá strana fólie musí zůstat zcela suchá. Při manipulaci s pigmentovým papírem dejte pozor na drobná zranění nebo oděrky na rukou, dotyk s chemikáliemi může způsobit jejich ztížené hojení. Po spojení celuloidové fólie s pigmentovým papírem přiložíme na suchou stranu fólie diapozitiv obrazce plošných spojů a celek vložíme mezi dvě čistá rovná skla. K expozici je nejvhodnější silný zdroj ultrafialových paprsků, jako např. uhlíková oblouková lampa, rtuťová výbojka nebo zářivka. Doba expozice závisí na intenzitě světelného zdroje a na jeho vzdálenosti od kopírovaného diapozitivu. Vhodná vzdálenost je asi 50 až 70 cm. Pigmentový papír je choulostivý na přehřátí, proto se doporučuje exponovat raději déle z větší vzdálenosti. Přehřátím se vrstva papíru úplně rozteče nebo přilne k celuloidové fólii tak, že nejde po vyvolání vymýt.

Po expozici se vyjme celuloidová fólie s pigmentovým papírem a vloží se do misky s vodou teplou asi 40 °C. Po 5 až 8 minutách, kdy se začnou nežádoucí okraje pigmentového papíru rozpouštět, lze papír s povrchu celuloidové fólie opatrně stáhnout (pod vodou). Na fólii zůstane část utvrzené želatiny z pigmentového papíru, která je znečištěna zákalem z želatiny neutvrzené. Zákal se vyčistí dalším vymýváním ve vodě teplé asi 40 °C. Místa, která mají na budoucí síťce tisknout, musí zůstat čirá. Na konci promývání se doporučuje vytvrdit šablonu v roztoku kamence chromitého po dobu asi 2 minut. Po závěrečném omytí v čisté vodě je šablona schopna přenosu na sítku. Hedvábná (i jiná) síťka se spojí se šablonou vytvořenou na celuloidové fólii tím, že se mokrá šablona přiloží na napjatou sítku, na vnitřní stranu rámečku se přiloží filtrační papír a pozvolna se přitlačuje na sítku válečkem. Tím se přitiskne šablona na sítku a zároveň se vytlačí přebytečná voda. Rámeček s přiloženou šablonou se nechá sušit v bezprašné místnosti při normální teplotě po dobu asi 5 až 8 hodin.



Obr. 60. Tisk přes sítku

Po uschnutí se pomocná celuloidová fólie sloupne ze sítky buď sama nebo mírným tahem.

Sítku dokonale prohlédneme, zdali obrazec plošných spojů není někde poškozen. Je-li poškozen, zakryje se poškozená plocha sítky roztokem želatiny nebo 10% roztokem polyvinylalkoholu. Takto opravená síťka se nechá ve vodorovné poloze uschnout.

Rámeček se sítkou jsou základní součásti potiskovacího zařízení. Musí být uložen výkyvně, tak, aby ho bylo možné odklápět a aby byla zaručena přesnost tisku (vždy ve stejném místě). Rámeček je upevněn tak, aby v provozní poloze byl asi 1 až 3 mm pod potiskovanou plochou. Tisková barva se protlačuje sítkou např. pryžovou stěrkou, kterou pohybujeme podél delší strany sítky jedním směrem (obr. 60). U zařízení pro sériovou výrobu se využívá i zpětného pohybu stěrky. Při tisku se barva hrne před stěrkou vždy v dostatečném množství, aby některá místa nezůstala nepotištěna. Při skončení tisku nebo jeho přerušení je zapotřebí síťku dokonale vymýt, aby v ní barva nezaschla.

Použitá tisková barva musí mít správnou viskozitu, aby se po protlačení sítkou bezvadně slila v jednolitou plochu. Vhodné složení tiskové barvy je uvedeno v receptáři.

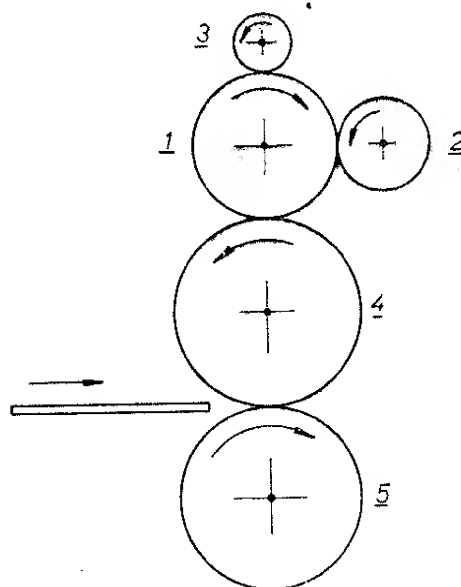
Přenos obrazce ofsetem

Pro přenos obrazce plošných spojů na cuprexitovou desku lze použít i ofsetu, způsobu běžného v tiskářské technice a

známého již od roku 1900. Ofset je pokračováním kamenotisku a využívá v podstatě úkazu, že vlhká místa odpuzují mastnotu – mastnou tiskařskou barvu. Obraz se z tenké kovové tiskové formy snímá pryžovým tiskacím válcem a jím se pak přenáší na předmět (desku) určený k potisknutí. Na rozdíl od jiných druhů tisku není zapotřebí používat velké tlaky, stačí asi 20 kg/cm².

Celý způsob přenosu je znázorněn schematicky na obr. 61. Tenká zinková deska, na níž je jemně odleptán obrazec, je upevněna na válci 1. Váleček 2 se válce 1 trvale dotýká a průběžně navlhčuje místa, která nemají přijímat barvu. Válečkem 3 se na zinkovou desku navaluje mastná tiskařská barva. K válci 1 je přitlačován pryžový válec 4, který přenáší obraz z válce 1 na desku, přitlačovanou k němu válcem 5.

Ke zhotovení zinkové tiskací desky potřebujeme plech tloušťky asi 0,6 mm, jehož povrch je jemně zdrsňen brusným materiálem. Po zdrsňení se deska důkladně omyje vodou a usuší. Suchá deska se zbaví kyslíčnicku omýváním v 3% roztoku kyseliny mravenčí a potom se ponoří do fixovacího roztoku (viz receptář). Po oprání v tekoucí vodě a opětném vysušení je deska připravena k použití. Pokryje se tenkou vrstvou světlocitlivé emulze a běž-



Obr. 61. Přenos obrazce ofsetem

ným způsobem se na ní vykopíruje požadovaný obrazec (viz fototechnický způsob přenosu obrazce). Po vyvolání a vyčištění obrazu se deska mírně zaleptá.

Odleptávání nepotřebných ploch měděné fólie

Je-li obrazec budoucích plošných spojů přenesen na základní cuprexitovou destičku, nastává poslední fáze výroby plošných spojů, a to vlastní vytvoření těchto spojů odleptáním nezakrytých ploch měděné fólie. Odleptání musí být dokonalé, aby zbylé ostrůvky mědi netvořily zkraty a nežádoucí spoje.

Měděnou fólii lze odleptávat elektrolyticky nebo chemicky. Při elektrolytickém způsobu slouží odleptávaná destička jako anoda. Je to způsob rychlý, používá levného elektrolytu, ale má jeden základní nedostatek. Po proleptání měděné fólie se na některých místech přeruší souvislost spojů a tím i připojení k přívodu elektrického proudu. Proto se téměř výhradně používá odleptávání chemického. Aby se postup urychlil, používá se ohřáté lázně, nuceného pohybu roztoku nebo destiček, různých přísad apod.

Jako leptací roztok se nejčastěji používá roztok chloridu železitého. Vhodná je i zředěná kyselina dusičná, jejíž nevýhodou jsou ale zdraví škodlivé výpary.

Chlorid železitý má chemický vzorec FeCl_3 a leptací pochod probíhá podle rovnice

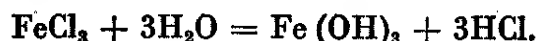


Působením chloridu železitého na měď se redukuje kyslíčník železitý na železnatý, při čemž vzniká chlorid měďnatý. Postupným vyčerpáváním lázně klesá koncentrace chloridu železitého a roste obsah mědi. Klesá při tom i rychlost leptání. Lázeň s obsahem mědi 50 g/l se považuje za vyčerpanou.

Hlavním parametrem při sériové výrobě je rychlost leptání. Má na ní vliv několik činitelů. Leptací doba klesá se zvyšováním teploty lázně; je to závislost přibližně hyperbolická a přibližný graf této závislosti je na obr. 62. Vyplývá z něj, že ohřátí leptací lázně z běžné teploty 20 °C

urychlí leptací pochod přibližně čtyřikrát. Význačný vliv na rychlost leptání má také koncentrace roztoku chloridu železitého. Tato koncentrace se udává buď stupni Bé nebo vlastní měrnou vahou chloridu železitého. Závislost leptací doby na koncentraci je patrná z grafu na obr. 63. V tab. 3 je srovnání koncentrace roztoku FeCl_3 , jeho hustoty ve stupních Bé a jeho měrné váhy.

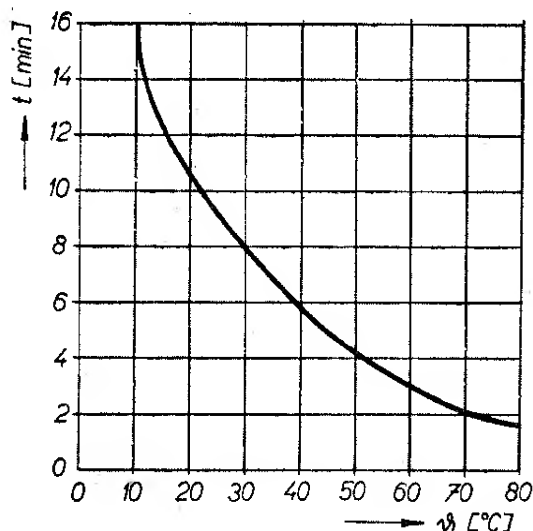
Dalšího zrychlení se dosahuje přidáním kyseliny chlorovodíkové. Hydrolyzuje se jí malé množství chloridu železitého podle rovnice



Přidává se 3 až 5 % kyseliny chlorovodíkové a její účinek je v tom, že v počáteční fázi leptání rychleji narušuje povrch nezakryté měděné fólie i když je fólie znečištěna.

Samotné uložení odleptávaných destiček a způsob leptání má také velký vliv na leptací rychlost. Snahou musí být odstranit odleptanou měď co nejrychleji s povrchu destičky. Dělá se to buď mechanickým stíráním (tamponem vaty, houbičkou), nebo vířením roztoku, jenž pak strhává částice mědi, postříkem, pohybem destiček apod.

Rychlost leptání je důležitá nejen z hlediska efektivnosti výroby, ale i z ryze praktických důvodů. Při pomalém leptání



Obr. 62. Graf závislosti doby leptání na teplotě leptací lázně

Tab. 3. Údaje roztoku FeCl_3

FeCl_3 [%]	Hustota [$^\circ\text{Bé}$]	Měrná váha [g]
5	5,1	1,0365
10	9,9	1,0734
15	14,8	1,1134
20	19,4	1,1542
25	24,7	1,2052
30	29,6	1,2568
31	30,6	1,2673
32	31,5	1,2778
33	32,5	1,2883
34	33,4	1,2988
35	34,3	1,3093
36	35,1	1,3199
37	36,0	1,3305
38	36,9	1,3411
39	37,7	1,3517
40	38,6	1,3622
41	39,5	1,3746
42	40,5	1,3870
43	41,4	1,3994
44	42,3	1,4118
45	43,2	1,4242
46	44,1	1,4367
47	44,9	1,4492
48	45,8	1,4617
49	46,6	1,4742
50	47,5	1,4867
55	51,9	1,5582
60	56,1	1,6317

dochází totiž k tzv. podleptávání. Leptání měděné fólie probíhá nejen ve směru kolmém na destičku, ale i ve směru s ní rovnoběžném. Dochází tím k podleptávání a tedy zužování vlastních spojů (obr. 64). Naopak při velmi účinném a agresivním roztoku dochází někdy k vytvoření síta, tj. některá méně zakrytá místa nebo malé kazy (zvláště při fotochemickém způsobu) neodolají agresivnosti leptadla a v těchto místech se potom fólie rovněž odleptá;

na hotové destičce jsou potom při pohledu proti světlu patrné malé tečky.

Aby bylo možno porovnat účinky leptání, udává se někdy tzv. leptací činitel

$$L_c = \frac{h}{a},$$

kde h je hloubka leptání [mm] a

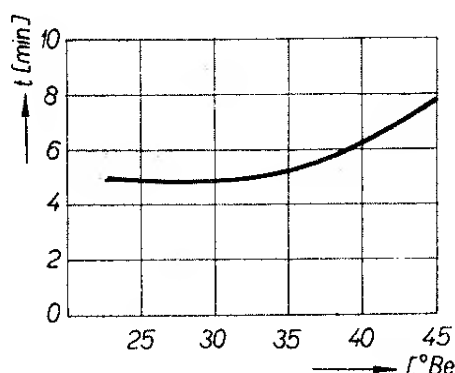
a šířka odleptání spoje po jedné straně [mm].

Např. změřili-li se, že při hloubce leptání $25 \mu\text{m}$ došlo k zúžení spoje o $16,6 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$, je leptací činitel $L_c = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{8,3 \cdot 10^{-3}} \doteq 3$.

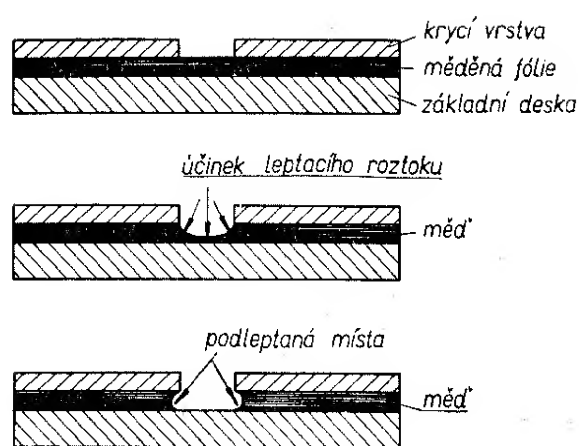
Praktické způsoby leptání

Při laboratorní nebo amatérské práci, kde potřebujeme většinou vytvořit jeden nebo několik málo kusů destiček s plošnými spoji, používáme „ruční“ leptání ve fotografických miskách. Do misky nalijeme přiměřené množství chloridu železitého, položíme destičku s obrazcem plošných spojů obrazcem nahoru a jemně ji přejíždíme tamponem vaty nebo molitanovou houbičkou (obr. 65). Při čerstvém leptacím roztoku a normální teplotě okolo 20°C se nepotřebná měděná fólie odleptá asi během 10 až 12 minut. Pokud nezáleží na rychlosti leptání, lze odleptávanou destičku pouze vložit do leptací lázně – nejlépe ve svislé poloze, nebo vodorovně obrazcem dolů – a ponechat ji svému osudu. Odleptání trvá asi 3 až $5 \times$ déle.

Pro prototypové série a malosériovou výrobu je již zapotřebí leptací pochod



Obr. 63. Graf závislosti doby leptání na koncentraci leptací lázně



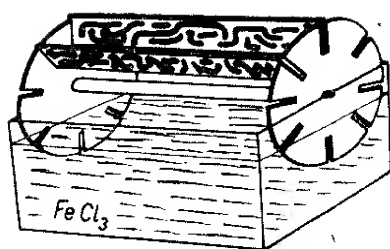
Obr. 64. Podleptávání plošných spojů

částečně zmechanizovat. Aby se vyloučila ruční práce, je nutné zajistit odplavování odleptané mědi. Několik řešení je na následujících obrázcích. Na obr. 66 je laboratorní zařízení pro leptání menšího počtu destiček. Destičky – pokud možno stejného formátu – jsou uloženy v otočném bubnu a pomalu se otáčejí v nádobě s roztokem leptacího roztoku chloridu železitého. V kotoučích tvořících čela bubnu jsou zářezy, do nichž se destičky svými okraji (asi 2 až 3 mm) zakládají. Po naplnění bubnu se destičky zajistí (např. „gumičkou“). Buben se otáčí několikrát za minutu.

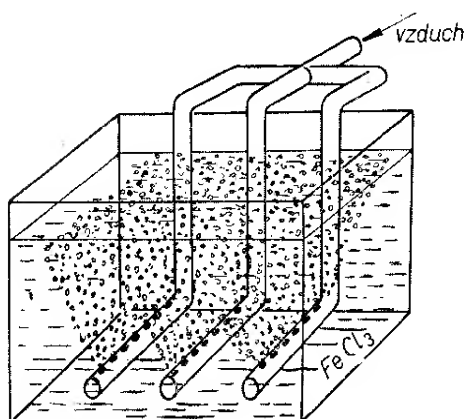
Další možné řešení je na obr. 67. Do nádoby s leptacím roztokem se přivádí vzduch, který probublává od dna nahoru



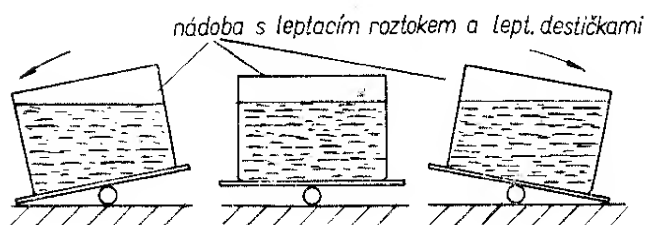
Obr. 65. Odleptávání měděné fólie



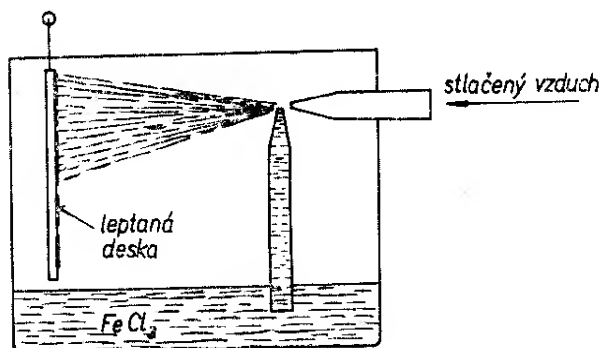
Obr. 66. Leptání v bubnu



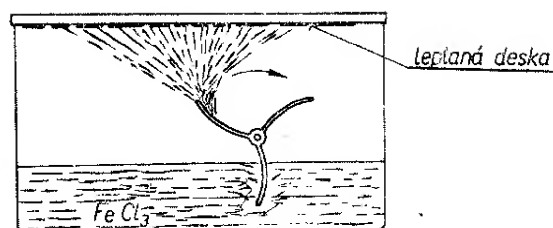
Obr. 67. Leptání s vířením probublávajícím vzduchem



Obr. 68. Víření lázně naklápěním nádoby



Obr. 69. Leptání postřikem



Obr. 70. Jiný způsob leptání postřikem

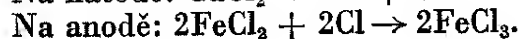
a čerá tak roztok. Vzniklý pohyb roztoku odstraňuje odleptanou měď. Toto zařízení má tu výhodu, že neobsahuje žádné pohyblivé součástky.

Mechanickým nakláněním nádoby s lázní (obr. 68) se rovněž dosáhne pohybu roztoku a očišťování destiček. Tyto způsoby mají nevýhodu v tom, že vždy existují v nádobě „slepá“ místa, kde pohyb nenastává, a destičky uložené v těchto místech se odleptávají mnohem pomaleji. Přesto se tento způsob pro svoji jednoduchost často používá.

Na obr. 69 je znázorněn nejúčinnější způsob odleptávání – postřikem. Destičky jsou nejčastěji zavěšeny ve svislé poloze a leptací roztok se na ně stříká. Využívá se principu strhávání roztoku proudem vzduchu (princip fixírky). Trochu jiný je systém na obr. 70. Destičky jsou upevněny na víku nádoby měděnou fólií dolů a roztok na ně stříká kolo s několika lopatkami.

Při větším rozsahu výroby se musí neustále kontrolovat kvalita, tj. vyčerpání leptacího roztoku. Přestože zkušený pracovník ji odhadne již podle barvy, používají se různé přesné metody – titrační, kolorimetrická, měření pH apod. Popis různých metod kontroly roztoku se již vymyká z rámce obsahu RK. Zájemci jej najdou např. ve [2].

Na závěr se zmíníme ještě o regeneraci leptacího roztoku. Jelikož se leptací roztok chloridu železitého poměrně rychle znehodnocuje, je hospodárné při větším objemu výroby účinnost roztoku obnovovat. Regenerace se uskutečňuje elektrolyticky. Probíhají při ní tyto reakce:



Při tom je nutné zabránit tomu, aby vznikající chlorid železitý (na anodě) nepadl měď vyloučenou na katodě a tím se znovu znehodnocoval. Proto se katoda pomalu pohybuje a odnáší sebou měď vyloučenou z elektrolytu.

Po dokonalém odleptání je potřeba hotovou destičku dokonale umýt – podle použitého způsobu buď ve vodě, byla-li zakryta emulzí, nebo v příslušném ředidle při sítotisku nebo ofsetu. Na kvalitě závěrečného umytí velmi záleží, protože nepatrné zbytky leptacího roztoku mohou potom sice pomalu, avšak o to déle působit na měděné spoje a narušovat je. Po umytí vodou je stejně bezpodmínečně nutné desky dokonale vysušit, protože i voda má vůči mědi korozivní účinky a narušuje vzhled hotových destiček (desky

růžoví, vytvářejí se barevné skvrny apod.).

Konečná úprava destiček s plošnými spoji

Po vyjmutí z leptací lázně, dokonalém omytí a usušení máme v ruce funkčně hotovou destičku s plošnými spoji. Pro její praktické použití je však nutné ještě několik úprav.

Každou destičku co nejdříve opatříme vrstvou ochranného laku (obr. 71). Ochranný lak má dvojí funkci. Jednak chrání destičku před korozi, která by měla negativní vliv na vzhled destičky a hlavně na pájitelnost. Musí to být proto lak průhledný, odolný proti otěru a z praktických



Obr. 71. Lakování hotových destiček s plošnými spoji

důvodů i rychleschnoucí. Druhou funkcí ochranného laku je usnadnit pájení na destičku. Bývá proto často vyráběn na bázi kalafuny; dobré účinky kalafuny při pájení jsou všeobecně známy. Takovýchto ochranných laků již bylo vyvinuto nespočet druhů a každý výrobce si svoje chemické složení chrání a utahuje, takže většinou nezbývá, než si vyvinout lak vlastní. Nejjednodušším lakem, jenž přitom plně uspokojí amatérské potřeby, je kalafuna rozpuštěná v denaturovaném lihu.

Lak můžeme nanášet na destičku několika způsoby. V malém je nejvýhodnější použít široký plochý štětec a destičky natírat. Destičku držíme ve svislé poloze a natíráme od shora dolů dlouhými tahy. Na jednou natřená místa se již nevracíme. Při větších sériích a levném laku se může lak nanášet v odstředivce (podmínkou je, aby byl dostatečně řídký, jinak zaschne dříve než stačí pokrýt celou plochu). Velmi rovnoměrné vrstvy se dosáhnou stříkáním stříkácí pistolí; mnoho laku ovšem přijde nazmar a tento způsob je dosti neekonomický.

Chemické složení několika druhů ochranných laků najdete v receptáři na konci této kapitoly.

Po nalakování musíme nechat destičky dobře uschnout v čistém a bezprašném prostředí. Protože dost druhů laků používá organických silně těkavých rozpouštědel, je nutné mít při lakování účinné větrání. Většina laků uschne nejpozději po 3 hodinách.

Pokovování plošných spojů

Protože měď je daleko nejvhodnějším materiálem pro výrobu plošných spojů, používáme ji i tehdy, potřebujeme-li mít spoje z jiného kovu a vytvořené měděné spoje dodatečně pokovujeme.

Přestože tento popis následuje po zmínce o lakování, k pokovování přistupujeme samozřejmě před lakováním, po umytí a vysušení vyrobených destiček.

K pokovení se používá různých kovů a různých metod jejich nanášení, podle účelu, kterému má nanesená vrstva sloužit. Nejčastěji používané kovy jsou:

Kov	Účel
stříbro, chemicky nanesené	krátkodobá ochrana před korozi
stříbro, galvanicky nanesené, tloušťka asi 3 μm	povrch kontaktů pro malé přepínací rychlosti
pájka, galvanicky nanesená, tloušťka 1 až 5 μm	výborný povrch k pájení
zlato, chemicky nanesené	ochrana před korozi, vhodné k pájení
zlato, galvanicky nanesené, tloušťka 3 až 50 μm	povrch elektrických kontaktů, odolný proti otěru
indium, galvanicky nanesené, tloušťka 5 až 12 μm	povrch elektrických kontaktů, odolný proti otěru
nikl, galvanicky nanesený, tloušťka 6 až 12 μm	tvrdý povrch, odolný proti korozi
nikl-rhodium, nanesené galvanicky, tloušťka 6 až 12 μm (0,1 až 1 μm)	tvrdý povlak, odolný proti korozi, vhodný na kontakty
stříbro-rhodium, galvanicky nanesené, stříbro 6 až 12 μm , rhodium 1 až 2,5 μm	povlak odolný proti korozi, vhodný na kontakty tam, kde nelze použít nikl pro jeho magnetické vlastnosti

Pro amatéra je dostupné např. tvrdé stříbření, používané pro zvětšení trvanlivosti kontaktů. Postupuje se asi tímto způsobem:

Odleptané očištěné destičky se odmastí v odmašťovací lázni (viz receptář). Odmašťuje se proudem 4 A/dm² při napětí 5 až 8 V po dobu maximálně 20 vteřin. Při delším odmašťování se může porušit přilnavost měděné fólie. Potom se destičky krátce opláchnou v 10% kyselině sírové. Pak se doporučuje mědění, aby se vyrovnal pórovitý povlak měděné fólie. Tato operace ale není nutná. V mědicí alkalické lázni (viz receptář) pokovujeme asi 3 až 5 minut proudem 0,3 A/dm² při napětí 2 až 3,5 V. Po mědění opláchneme destičku v tekoucí vodě. Posléze postříbříme ve stříbřicí lázni Ag25 proudem 0,8 A/dm² při napětí 0,8 až 1,2 V po dobu 15 minut. Získaná tloušťka povlaku je

7 μm . Na přilnavosti této vrstvy závisí i jakost dalšího stříbřeného povlaku a jeho odolnost proti opotřebení. Tvrdé stříbření děláme v lázni Ag_{25} s přidaným kyani-
dem nikelnato-draselným (15 g na litr). Pokovujeme proudem 0,8 A/dm² při napětí 1,5 V po dobu 40 minut. Komplexní sloučenina niklu a stříbra dává dobře leštitelný, stříbřitě bílý povlak tloušťky asi 20 μm .

Pro laboratorní účely se dobře osvědčuje tzv. tampónový způsob galvanického pokovování. Místo ponoření do pokovovací lázně se destičky spojí se záporným pólem zdroje, takže tvoří katodu. Anodu představuje měkký plstěný váleček, navlečený na grafitové anodě a navlhčený pokovovacím roztokem.

Při galvanickém pokovování se postupuje stejně, jako při výrobě plošných spojů tímto způsobem. Je nutné dbát, aby všechny pokovované plochy byly spojeny se zdrojem proudu. Pro jednotlivé kovy se používá různých proudových hustot a doba, potřebná k vyloučení potřebné vrstvy je různá:

Kov	Maximální proud [A/dm ²]	Čas potřebný k vyloučení vrstvy 0,025 mm [s]
Cín	540	25
Chrom	430	625
Indium	430	25
Kadmium	650	25
Kobalt	160	75
Měď	650	75
Nikl	540	50
Olovo	540	35
Paládium	160	100
Platina	320	175
Rhodium	320	1 000
Stříbro	135	50
Vismut	650	25
Zinek	320	35
Zlato	190	75
Železo	320	100

Řezání, stříhání a vrtání destiček s plošnými spoji

Po nalakování ostříhneme nebo ořízneme destičky s plošnými spoji na konečný formát. Děláme to každopádně až po nalakování, protože lak na okrajích tvoří kapky a není rovnoměrně nanesen. Pro laboratorní potřebu upravujeme destičky na konečný formát nejčastěji pákovými nůžkami na plech. Při jednotlivých kouscích vyráběných doma „na koleně“ můžeme destičku oříznout běžnou ruční pilkou na železo. V sériové výrobě se používá většinou okružních pil, kterými se destičky rozřezávají.

Poslední operací, kterou děláme často až před vlastním použitím destičky, je vrtání děr pro součástky. Pro kusovou výrobu a laboratorní potřebu vrtáme malou stojanovou vrtačkou (jen v nouzi ruční vrtačkou), používané vrtáky jsou nejčastěji o \varnothing 0,8 až 1,2 mm. Volíme řeznou rychlost 20 až 40 m/min a posun do záběru asi 0,1 až 0,2 mm na otáčku. Při vrtáku \varnothing 1 mm to znamená asi 6 000 otáček za minutu a plynulý poměrně rychlý posun do záběru. Při sériové výrobě se vrtá více otvorů najednou speciálními přípravky. Používá se také ražení otvorů na lisech, přičemž se destičky musí nejdříve předeřhřát a razí se za tepla. Vzhledem k relativně značné smrštivosti základního materiálu pro plošné spoje volíme průměr vrtáků i razníků asi o 0,05 až 0,15 mm větší než je průměr požadovaného otvoru.

Receptář

V této části bude uveden souhrn receptů na zhotovení různých druhů roztoků, potřebných v některé fázi výroby plošných spojů. Není to samozřejmě výčet dokonalý, ale měl by postačit pro běžnou amatérskou potřebu. U každého receptu bude uvedeno použití roztoku a stručně způsob zacházení s ním.

Mědicí lázeň pro chemické nanášení kovů

uhličitan měďnatý	145 g
glycerin	145 g

hydroxid sodný	165 g
destilovaná voda	do 1 000 ml

Před začátkem mědění se přidává formalín v množství asi 35 až 40 ml na jeden litr roztoku.

Kontrastní vývojka pro vyvolávání klišé

Roztok A:

hydrochinon	25 g
pyrosiřičitan draselný	25 g
bromid draselný	25 g
voda	do 1 000 ml

Roztok B:

hydroxid draselný	50 g
voda	do 1 000 ml

Vývojka se připravuje těsně před použitím smísením obou roztoků v poměru 1:1. Vyvolávací doba při 18 °C je asi 2 minuty. Po ukončeném vyvolání se ustaluje v běžném kyselém ustalovači např. tohoto složení:

siřnatan sodný krystalický	200 g
pyrosiřičitan draselný	15 g
voda	do 1 000 ml

Je-li negativ příliš krytý a světlá místa jsou poněkud „zatažená“, použije se Farmerova zeslabovače:

Roztok A:

siřnatan sodný krystalický	30 g
voda	300 ml

Roztok B:

kyanoželezitan draselný	15 g
voda	do 300 ml

Těsně před použitím se smísí 100 ml vody se 100 ml roztoku A a 6 ml roztoku B. Rychlost zeslabování závisí na množství roztoku B.

Světloditlivá emulze – chromovaný bílek

čerstvě ušlehaný vaječný bílek	50 g
dvojjchroman amonný rozpuštěný v 50 ml destilované vody	25 g
destilovaná voda	200 ml

Po smísení se přidá asi 15 kapek čpavku a roztok se přefiltruje.

Světloditlivá emulze

Roztok A:

albumin (suchý rozmělněný bílek)	20 g
destilovaná voda	135 ml

Roztok B:

dvojjchroman amonný	10 g
destilovaná voda	135 ml

Světloditlivá emulze – chromovaný šelak

bílý šelak	100 g
koncentrovaný čpavek	80 ml
alkohol	do 1 000 ml

Šelak se vloží do nádoby, přilije se čpavek a nechá se asi 2 hod. ustát. Přilije se alkohol a nechá se až několik dní ustát, aby se šelak dobře rozpustil. Před vlastním použitím se roztok zcitliví přidáním 3% roztoku dvojjchromanu amonného v poměru jeden díl dvojjchromanu na pět dílů roztoku. Vyvolává se (po expozici) v roztoku:

methylviolet	2 g
alkohol	1 000 ml

Světloditlivá emulze – chromovaný rybí kliš

Roztok A:

rybí kliš	310 g
destilovaná voda	310 ml

Roztok B:

dvojjchroman amonný	20 g
destilovaná voda	310 ml

Roztok C:

bílek	8 g
destilovaná voda	60 ml

K dosažení větší odolnosti vrstvy se nanese vrstva smíchaná z těchto tří roztoků vytvrzuje v roztoku:

dvojjchroman amonný	50 g
kamenec chromitý	15 g
40% formalín	2 ml
destilovaná voda	1 000 ml

Vyvolává se ve stejném roztoku jako v předchozím případě.

Světlocitlivá emulze – chromovaná arabská guma

Roztok A:

arabská guma	180 g
destilovaná voda	350 ml

Roztok B:

dvojchroman amonný	55 g
destilovaná voda	250 ml

Roztok C:

eosin	7 g
destilovaná voda	150 ml

Směs z těchto tří roztoků se přefiltruje a nanese v tenké vrstvě na destičku. Vyvolává se v chloridové vývojce: roztok chloridu vápenatého

(40 °C Bé)	830 ml
kyselina mléčná	43 ml

Ochranný lak pro dvojvrstvý pochod

pryskyřice (5363)	80 g
ethylacetát	200 ml
rozpuštěný žlutý olej	2 g
červená vazelína (OS)	2 g

Světlocitlivá vrstva pro dvojvrstvý pochod

Roztok A:

arabská klovatina	50 g
destilovaná voda	200 ml
chloroform	0,2 ml

Roztok B:

dvojchroman amonný	10 g
destilovaná voda	100 ml

Roztoky A a B se smísí v poměru 9: 2 a nechají 3 až 7 hodin ustát. Vyvíjí se v roztoku:

kyselina mléčná	100 ml
mléčnan ethylnatý	10 ml

Světlocitlivá emulze pro sítotisk – přímý způsob

Roztok A:

želatina suchá	10 g
voda	100 ml

Želatina se nechá asi 1 hodinu bobtnat a pak se ohřeje asi na 40 °C a přefiltruje.

Roztok B:

dvojchroman amonný	10 g
voda	100 ml
čpavek	1 ml

Roztoky se smísí v poměru 10: 1.

Preparační roztok – sítotisk nepřímým způsobem

terpentýn	1 000 ml
kalafuna	36 g
včelí vosk	12 g

Zcitlovací roztok pro pigmentový papír

dvojchroman amonný	100 g
destilovaná voda	1 000 ml
20% čpavek	10 ml

Tisková barva pro sítotisk

litoponová běloba	65 až 70 %
tisková běloba	25 %
ultramin modrý, suchý	3 %
přírodní fermež	2 %
sikativ	0,5 %

Fixovací roztok pro ofset

pálený kamenec	50 g
kyselina dusičná	50 ml
voda	do 1 000 ml

Leptací roztok pro odleptávání nepotřebných částí měděné fólie

chlorid železitý	1 600 g
voda	1 000 ml

Ochranný lak pro destičky s plošnými spoji

polystyrén	4 váhové díly
kalafuna	15 váhových dílů
diethylftalát	15 váhových dílů
rozpuštědlo	100 váhových dílů

Ochranný lak pro destičky s plošnými spoji

kalafuna	85 %
stearin	15 %

Roztoky pro tvrdé stříbření plošných spojů

Odmašťovací lázeň

hydroxyd sodný	20 g
sířičitan sodný	40 g
kyanid sodný	10 g
vodní sklo	2 g
voda	1 000 ml

Mědicí lázeň

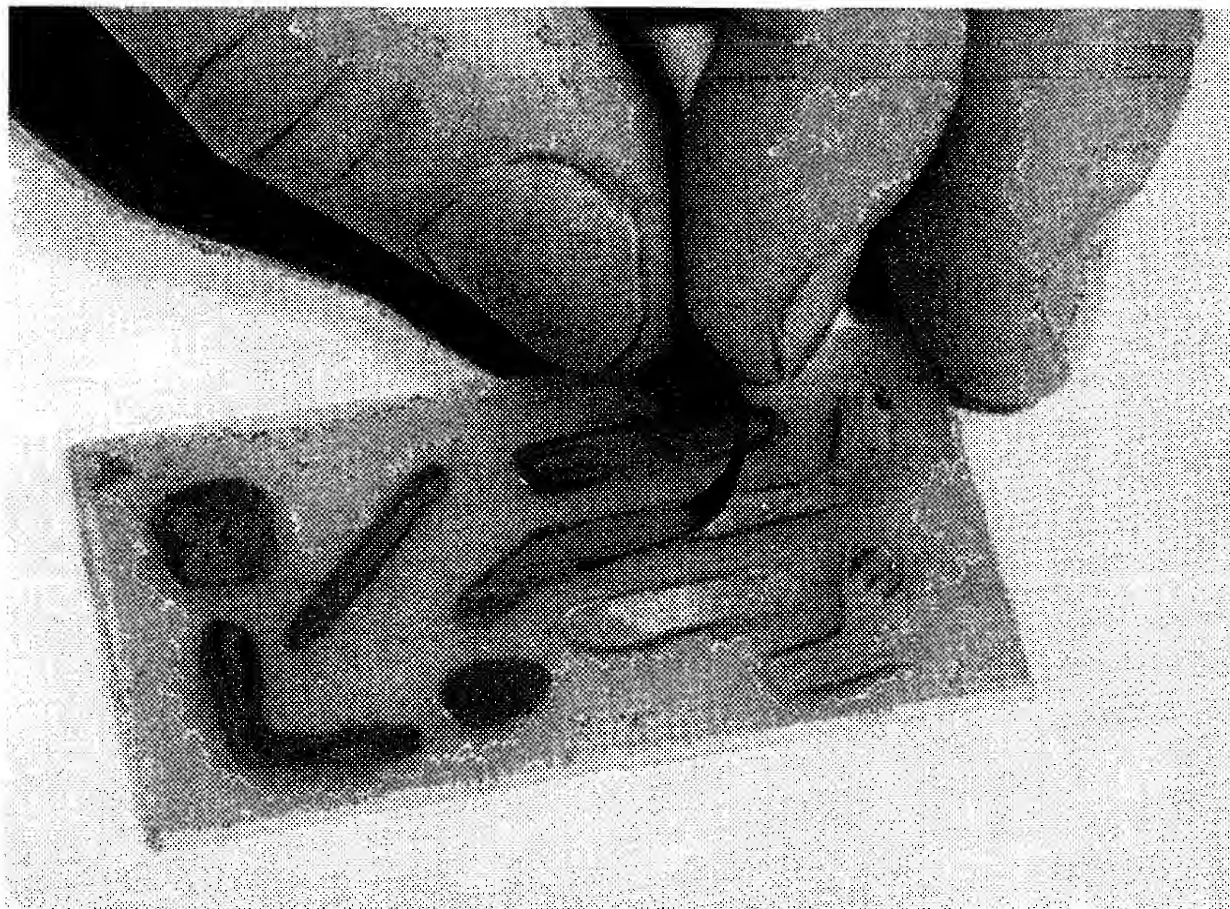
kyanid měďný	45 g
kyanid sodný	55 g
uhličitan sodný	3 g
voda	1 000 ml

Postříbřovací lázeň Ag25

kyanid stříbrný	30 g/l
kyanid draselný	70 g/l
uhličitan draselný	30 g/l

Výroba prototypů a jednotlivých destiček s plošnými spoji

Způsoby výroby plošných spojů, které byly v předchozích článcích popsány, se hodí většinou pro výrobu alespoň menší série stejných destiček. Pro výrobu jednotlivých kusů jsou příliš zdlouhavé i nákladné. Proto často při výrobě prototypu destičky nebo jednoduchého unikátního kusu slevíme z požadavků na estetiku provedení a použijeme některý z rychlejších způsobů. Několik základních metod zde bude stručně popsáno. Každopádně jde vždy pouze o způsob přenesení obrazce na destičku z cuprexitu; druhá fáze výroby (tj. odleptání) je u všech způsobů stejná a byla již podrobně popsána.



Obr. 74. Odstraňování krycí barvy loupáním

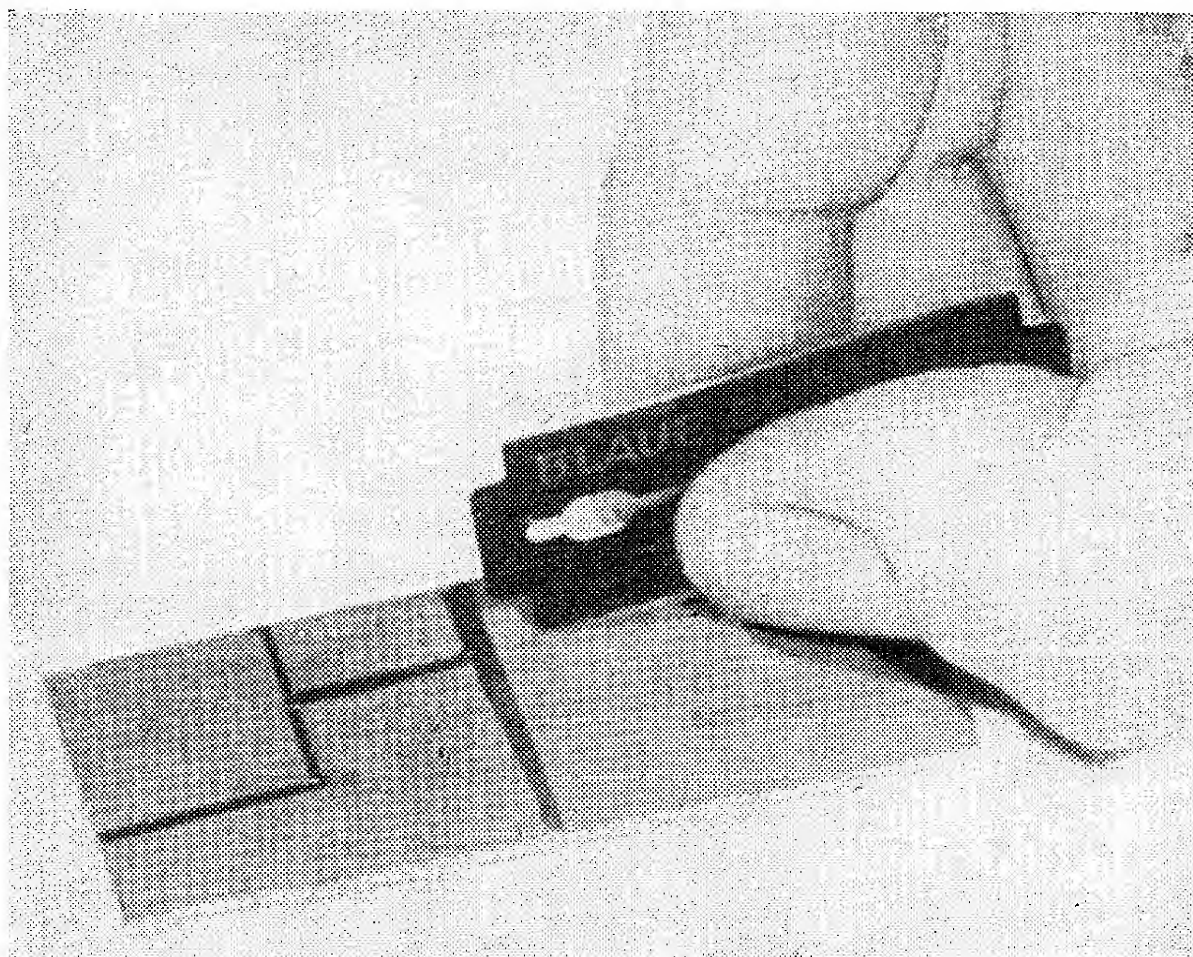
Kreslení obrazce acetonovou barvou

Obrazec plošných spojů překreslíme na průsvitný papír a odtud pomocí uhlového papíru přeneseme na destičku cuprexitu (obr. 72). Plochy, které mají tvořit budoucí spoje vyplníme acetonovou barvou (obr. 73). Můžeme k tomu použít trubičkové pero, štěteček, špičaté dřívko nebo jiný podobný nástroj. Vhodná je acetonová barva na usně, která se dostane v prodejně obuvi nebo řemeslnických potřeb; plechovka stojí asi 2 Kčs. Tuto barvu lze zředit acetonovým ředidlem; při použití trubičkového pera je to dokonce nutné. Obrazec vyplněný acetonovou barvou necháme uschnout a případné opravy a retuše uděláme žiletkou. Potom ponoříme destičku do leptacího roztoku a necháme odleptat. Po opláchnutí a osušení buď smyjeme

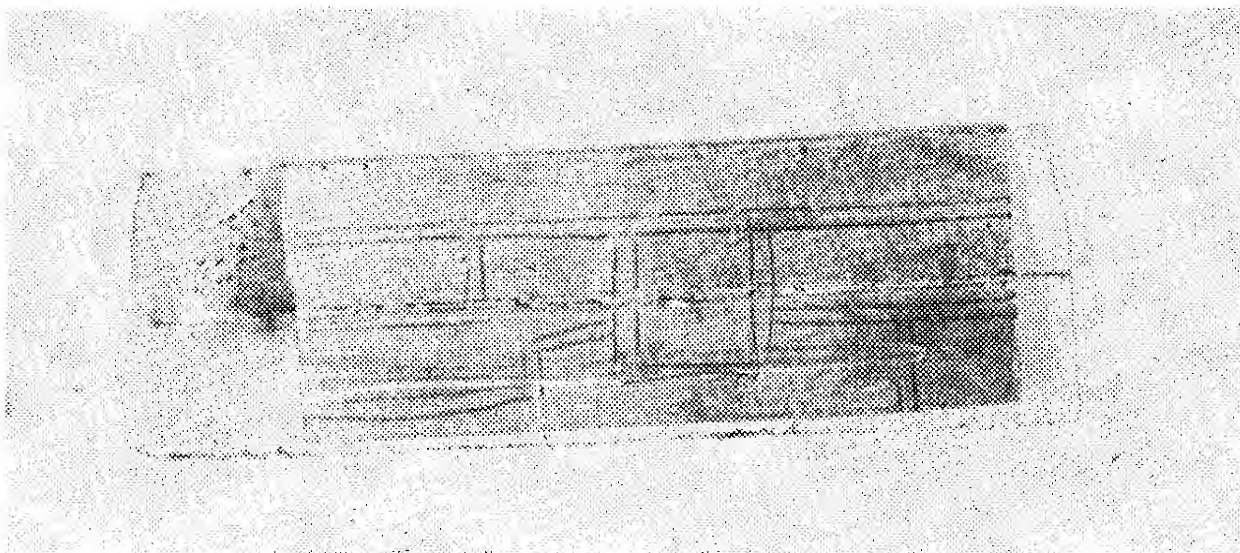
barvu acetonovým ředidlem nebo ji po částech z destičky sloupeme (obr. 74). Destičku očistíme jemným smirkovým papírem a popř. natřeme ochranným lakem. Tento způsob výroby je velmi rychlý (asi 30 min.) a při pečlivém kreslení dává i poměrně pěkné výsledky.

Proškrabávání dělicích čar

Destičku cuprexitu potřebného formátu natřeme celou acetonovou barvou a necháme uschnout. Potom na ní opatrně pomocí uhlového papíru přeneseme obrazec plošných spojů. Tento způsob používáme u soustavy dělicích čar, takže na destičku přenášíme vlastně dělicí čáry. Žiletkou potom vyřežeme z barvy proužky široké asi 1 mm v místech dělicích čar a sloupneme je (obr.



Obr. 75. Výroba plošných spojů systémem dělicích čar



Obr. 76. Použití Izolepy jako krycí vrstvy

75). Tím dostaneme stejný polotovár jako v předchozím případě – destičku, na níž jsou plochy budoucích spojů zakryty barvou a ostatní plochy jsou odkryté. Další postup je shodný s předchozím způsobem.

Místo acetonové barvy lze použít např. i vosk a dělicí čáry vyškrábat nožem nebo jiným ostrým nástrojem.

Použití lepicí pásky Izolepa

Při tomto způsobu ušetříme čas potřebný v předchozích případech k uschnutí acetonové barvy. Na cuprexitovou destičku přeneseme pomocí uhlového papíru obrazec plošných spojů a celou destičku potom přelepíme lepicí páskou Izolepa (obr. 76). Je výhodné použít co nejširší pásky, aby na destičce bylo co nejméně míst, kde se dvě vrstvy překrývají. Nyní vyřezeme žiletkou úzké pásky v místech dělicích čar a tyto proužky s destičky stáhneme (obr. 77). Další postup je zase obdobný jako u předcházejících způsobů; po odleptání a umytí stačí izolepu s destičky odlepit a vzorek je hotov.

Pásky k vytváření spojů

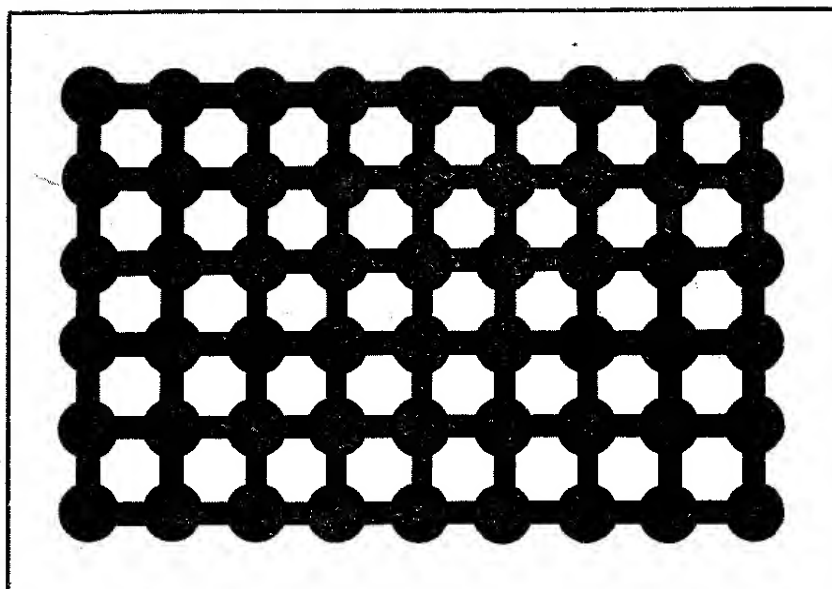
Tento způsob je rozšířen především v zahraničí. Je k němu zapotřebí lepicí

páska v několika různých šířkách a kolečka z téhož materiálu (také lepicí). Těmito pomůckami se na cuprexitové destičce vytvoří přímo obrazec plošných spojů systémem spojových čar. Kolečka (kotoučky) slouží jako pájecí body, lepicí páskou různé šířky vytváříme jednotlivé spoje. Po odleptání stačí pásku jenom stáhnout a destička je hotová. Bohužel se zatím u nás nenašel výrobce, který by dal podobnou pásku na trh a tak nezbývá než čekat nebo se pokusit o improvizaci izolepou, kterou si nastříháme na pásky potřebné šířky (kotoučky vyrazíme průbojníkem).

Mechanické vytváření plošných spojů přímo na destičce

Tento způsob je vhodný pouze pro malé jednoduché destičky se spojovým obrazcem vytvořeným systémem rovných dělicích čar. Dělicí čáry překreslíme tužkou na destičku a jehlovým pilníkem v místech těchto čar proškrábeme drážky (obr. 78). Výsledkem je sice poměrně nevzhledná destička, avšak způsob výroby je velmi rychlý a vytvořená destička s plošnými spoji funkčně vyhovuje.

Podobným způsobem zhotovení destičky s plošnými spoji je frézování plošných spojů. Používá se opět u spojů zhotove-



Obr. 79. Univerzální destičky s plošnými spoji prvního typu, tj. určené k proškrobávání

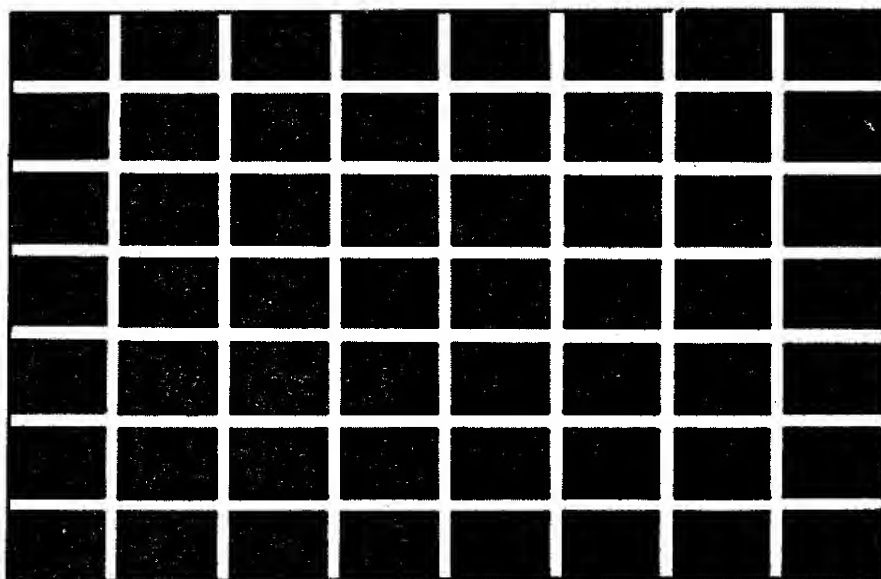
ných systémem dělicích čar a spočívá v odfrézování dělicích čar malou frézou nebo upraveným vrtákem. Pro tento způsob lze využít např. malou stojanovou vrtačku, do níž upneme zubařskou frézku nebo upravený zbroušený vrták a destičkou opatrně pohybujeme tak, aby se měděná fólie v místech dělicích čar odfrézovala.

Univerzální destičky

V poslední době se velmi vžívá konstrukce prototypů a vzorků a někdy dokonce i hotových jednotlivých přístrojů na univerzální destičky s plošnými spoji.

Existují dva základní druhy univerzálních destiček s plošnými spoji. Jsou to např. destičky typu jako na obr. 79. Jsou tvořeny sítí kruhových nebo čverhranných pájecích bodů, které jsou mezi sebou propojeny tenkými spoji; mezi sebou jsou elektricky propojeny všechny pájecí body na celé destičce. Potřebný obrazec plošných spojů vytváříme tak, že ostrým nožkem odškrabáváme spoje mezi pájecími body, které nemají být elektricky spojeny. Potom do použitých pájecích bodů vyvrtáme díry pro vývody součástek a destičku je možno použít.

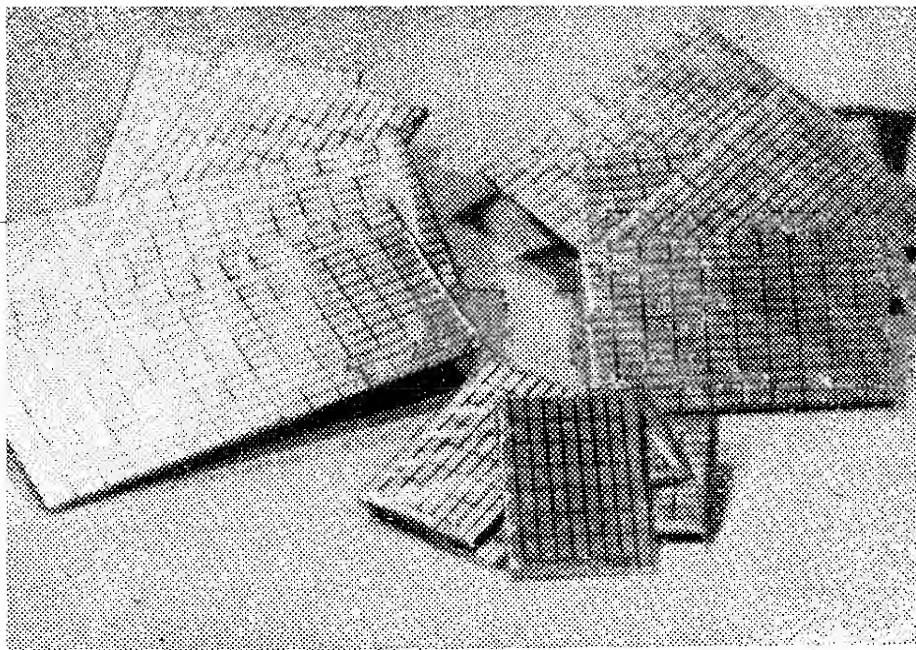
Druhý typ univerzálních destiček je naopak tvořen mřížkou dělicích čar, které rozdělují měděnou fólii na řadu izolova-



Obr. 80. Univerzální destičky s plošnými spoji druhého typu

ných čtverhranných pájecích míst (obr. 80). Propojováním jednotlivých sousedních pájecích bodů kouskem drátu nebo přímo jenom kapkou cínu vytvoříme požadovaný spojový obrazec. Na tyto destičky většinou pájíme součástky ze strany měděné fólie a nevrtáme do nich díry.

Univerzální destičky druhého typu (obr. 81) vyrábí radioklub Smaragd pod označením U1, U2 a U3 ve třech velikostech a lze si je objednat na dobírku na adrese RK Smaragd – PLOŠNÉ SPOJE, pošt. schr. 116, Praha 10, nebo zakoupit v prodejně Radioamatér v Praze.



Obr. 81. Univerzální destičky s plošnými spoji Smaragd U1, U2, U3

Montáž součástek do destiček s plošnými spoji

K technologii plošných spojů patří nesporně kromě jejich vlastní výroby i osazení destičky součástkami. Stručně se tedy zmíníme o několika zásadách a způsobech montáže součástek na destičku.

Většina součástek je připevněna k destičce s plošnými spoji přímo připájením svých vývodů na měděnou fólii. Ty součástky, které kromě toho potřebují ještě mechanické uchycení – vzhledem ke svým rozměrům nebo váze – připevňujeme k destičce nejčastěji šroubky nebo nýty. Otázku připevnění součástí řešíme ovšem již při návrhu obrazce plošných spojů, takže v hotové destičce pouze vyvrtáme potřebné díry. To bývá obvykle první

krok při osazování destiček s plošnými spoji.

Připravíme si všechno, co k osazení destičky budeme potřebovat. Jsou to jednak všechny součástky, které na destičce budou, páječka s dobrou smyčkou, cín, kalafuna; z náradí potřebujeme štípací kleště, jemné kleště ke tvarování vývodů a popřípadě šroubovák k přišroubování větších součástek. Velmi užitečným nástrojem je pinzeta, která chrání prsty od popálení, k němuž může dojít, přidržují-li se součástky při pájení v prstech.

Na destičku upevňujeme nejdříve větší součástky (především ty, které nýtujeme), aby drobné součástky nebránily potřebné manipulaci. Výjimku tvoří vyšší díly s jednoduchým upevněním, které montujeme raději až nakonec, aby

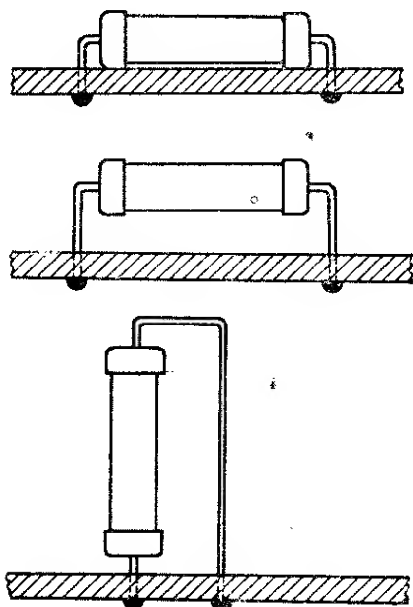
naopak nebránily montáži drobných součástek v jejich okolí.

Většinu plochy destičky s plošnými spoji zabírají obvykle drobné součástky, jako jsou odpory, kondenzátory, polovodičové součástky apod. Existuje několik způsobů jejich montáže na destičku; každý má své výhody a nevýhody. Probereme tyto součástky jednotlivě v pořadí, v jakém jsme o nich hovořili v kapitole o výběru součástek pro zapojení na plošných spojích.

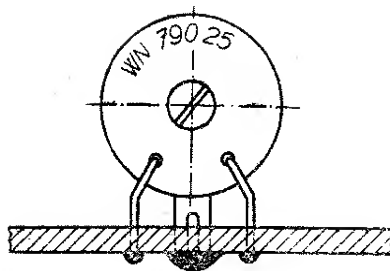
Na obr. 82 jsou tři používané způsoby montáže odporů na destičku s plošnými spoji.

a) Odpor leží celou svou délkou na destičce, vývody má zkrácené na minimum a připájené k měděné fólii. Výhodou tohoto způsobu je mechanická pevnost připojení a jednoduchá montáž – nevýhodou je, že po vyjmutí z destičky bývá obvykle odpor již nepoužitelný (vzhledem k maximálně zkráceným vývodům). Nepoužíváme proto tento způsob tam, kde předpokládáme demontáž zapojení, nebo případnou výměnu součástek v něm.

b) Odpor stojí na „nožičkách“, vytvořených z jeho vývodů. Výhodou tohoto druhu montáže je, že lze i po demontáži odpor ještě použít, také se na



Obr. 82. Způsoby montáže odporů do plošných spojů



Obr. 83. Způsob montáže trimru WN 790 25 do plošných spojů

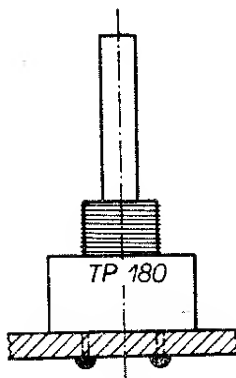
něm dá snáze měřit (v hotovém zapojení, např. pomocí měřicích hrotů Smaragd). Nevýhodou je menší mechanická pevnost, obtížnější montáž (odpor je nutno držet v určité výšce nad destičkou) a je nutné dbát na to, aby všechny odpory byly ve stejné výšce (z estetického hlediska).

c) Tento způsob používáme pouze ve velmi stěsnaných montážích, kde je nutné na malou plochu umístit co nejvíce součástek. Snažíme se dodržovat rozteč 5 mm, někdy je však nutné používat rozteč 2,5 mm, jako např. u elektrolytických kondenzátorů TC941.

Odporové trimry montujeme podle typu vždy jediným způsobem. Typ WN790 25 se přichycuje za střední vývod (obr. 83), který tvoří pájecí očko. Druhé dva vývody jsou z tenkého vodiče a k mechanickému upevnění trimru nepřispívají. Druhý typ, WN790 30, se upevňuje za své tři vývody do otvorů s patřičnými roztečemi zcela jednoznačným způsobem.

Pokud připojíme do destičky s plošnými spoji potenciometr bez držáku, zapájíme jeho zkrácené vývody tak, aby potenciometr celou svou spodní plochou dosedl na destičku a opřel se o ni (obr. 84).

O velmi chudém sortimentu cívek, kostříček a krytů na našem trhu jsme se již zmínili. Způsob výroby cívek na destičce s plošnými spoji je patrný z obr. 85. Pro kostříčku o \varnothing 5 mm je v destičce vyvrtán otvor stejného průměru a kostříčka s vinutím se do otvoru zalepí. Kryt je nasunut na cívku a mechanicky i elektricky spojen s destičkou dvěma kousky drátu, připájenými jedním koncem ke

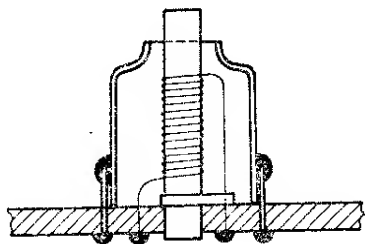


Obr. 84. Způsob montáže potenciometru TP180 (TP181) přímo do destičky s plošnými spoji

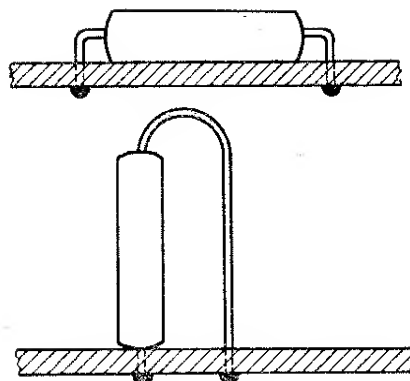
krytu a druhým k měděné fólii, spojené se společným pólem zdroje.

Kondenzátory připevňujeme podobným způsobem jako odpory. Málokdy je ovšem umísťujeme nad destičku (jako odpor na obr. 82b), protože jejich vývody bývají z tenčího drátu a kondenzátory jsou těžší než odpory, takže by mechanické upevnění bylo nedokonalé. Pokládáme je proto buď přímo na destičku (obr. 86a) nebo je stavíme na výšku (obr. 86b).

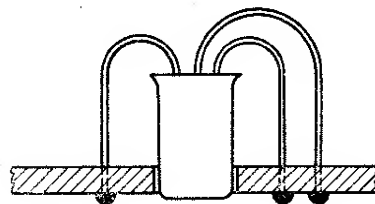
Polovodičové prvky pájíme do destičky nakonec. Je to z toho důvodu, že bývají choulostivé na přehřátí a pájením jiných součástek do míst jejich vývodů by se mohly zničit. O způsobu upevňování tranzistorů bylo již něco řečeno v kapitole o součástkách. Nejčastěji je upevňujeme jako ostatní součástky, tj. pouze za vývody. Je-li nutné zajistit tranzistor proti pohybu, používáme způsob podle obr. 87. Do destičky vyvrtáme otvor o průměru stejném, jako je průměr krytu tranzistoru. Tranzistor do otvoru potom zasuneme, popř. zalepíme. Použijete-li objímky, je jejich montáž



Obr. 85. Konstrukce cívky s krytem na destičce s plošnými spoji



Obr. 86. Způsob montáže kondenzátorů do plošných spojů

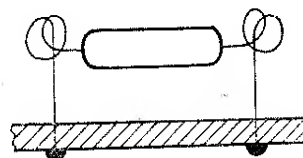


Obr. 87. Upevnění tranzistoru do destičky s plošnými spoji

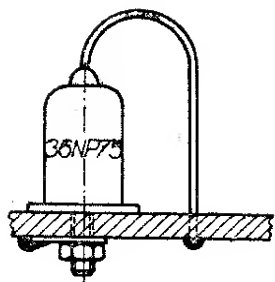
do destičky s plošnými spoji jednoznačná (do otvorů s roztečemi podle obr. 35).

Při montáži tranzistorů do objímek zkracujeme jejich vývody tak, aby tranzistor po zasunutí vývodů do objímky dosedl krytem na horní plochu objímky. V tomto případě je uchycení tranzistoru i po mechanické stránce dostatečné. U prvních dvou typů objímek, tj. pro tranzistory se třemi a se čtyřmi vývody v jedné rovině nelze zkrátit vývody tak, aby tranzistor dosedl na objímku, protože dolní ploška tranzistoru bývá často vypouklá; uspořádání vývodů v jedné rovině také nezaručuje dostatečnou mechanickou pevnost. Proto nepoužíváme tyto typy objímek do přenosných nebo jiných zařízení, vystavených otřesům.

Polovodičové diody s axiálními vývody montujeme jako odpory, s tím roz-



Obr. 88. Způsob montáže diod s axiálními vývody do plošných spojů



Obr. 89. Způsob montáže diod s upevňovacím šroubem do plošných spojů

dílem, že vývody nezkracujeme – vytvoříme z nich šroubovici, která odvádí teplo při pájení (obr. 88). Diody většího typu, uchycované šroubem se prostě přišroubují; pod maticí je vhodné vložit pájecí očko, které se připájí k měděné fólii. Druhý vývod se připájí do destičky obvyklým způsobem (obr. 89).

Při pájení polovodičů dbáme základních pravidel, udaných většinou výrobcem. Pájíme nejkratší možnou dobu. Mezi pájecím místem a polovodičovým prvkem se uchopí pájený vývod do kleští, aby se k polovodičovému přechodu dostalo co nejméně tepla, vzniklého při pájení. Vývody polovodičových součástek pokud možno nezkracujeme, jejich délka je volena právě s ohledem na odvádění tepla při pájení.

Po připájení a připevnění všech součástek na destičku zapojení ještě jednou zkontrolujeme. Potom se omyje ze strany plošných spojů kalafuna a plošné spoje se přelakují pájecím lakem. Lze použít i jiný lak (bezbarvý); při případných opravách bude však nesnadné pájení.

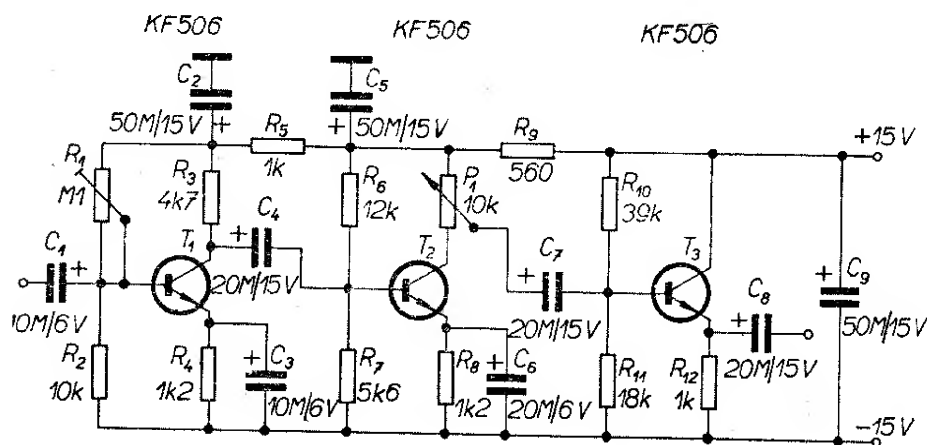
Praktický příklad

Návrh obrazce plošných spojů

Celý postup návrhu obrazce plošných spojů snad nejlépe osvětlí praktický příklad. Navrhne spojový obrazec pro nízkofrekvenční zesilovač podle obr. 90.

Nejprve si musíme ujasnit funkci zapojení a význam jednotlivých součástek, abychom na to mohli při návrhu spojů brát zřetel. Zapojení na obr. 90 je třístupeňový tranzistorový zesilovač, jehož poslední stupeň je zapojen jako emitorový sledovač a má za úkol zmenšit výstupní impedanci zesilovače. Projdeme schéma od začátku. První tranzistor T_1 je zapojen jako zesilovač se společným emitorem a s úplnou můstkovou stabilizací. Odpor R_1 přesně nastavíme jeho pracovní bod. Odpor R_3 je zatěžovací odpor, zapojený v kolektoru, z něhož odebíráme zesílený signál. Odpor R_4 blokováný kondenzátorem C_4 slouží ke stabilizaci pracovního bodu; kondenzátor odstraňuje zápornou zpětnou vazbu, která by na odporu vznikla. Signál se přivádí na bázi tranzistoru přes vazební kondenzátor C_1 . Napájení prvního stupně je od dalších stupňů odděleno odporem R_5 a filtrováno elektrolytickým kondenzátorem C_2 .

Druhý stupeň je zapojen obdobně. Pracovní bod tranzistoru T_2 je nastaven odpory R_6 a R_7 . Odpor R_8 spolu s elektrolytickým kondenzátorem C_5 mají stejnou funkci jako odpor R_4 a kondenzátor C_2 .



Obr. 90. Schéma nízkofrekvenčního zesilovače

u prvního stupně. Signál z prvního tranzistoru (z jeho kolektoru) se přivede na bázi T_2 přes elektrolytický vazební kondenzátor C_4 . V kolektoru tranzistoru T_2 je jako zatěžovací odpor zapojen potenciometr P_1 . Podle polohy běžce tohoto potenciometru se mění velikost napětí, přiváděného na třetí stupeň zesilovače a tím i jeho celkové zesílení. I napájecí napětí tohoto stupně je odděleno od třetího stupně; slouží k tomu odpor R_9 a napětí je filtrováno elektrolytickým kondenzátorem C_5 . Napětí z běžce potenciometru P_1 se přivádí přes vazební kondenzátor C_7 na bázi posledního, třetího stupně zesilovače. Tento stupeň pracuje v zapojení se společným kolektorem, tj. jako tzv. emitorový sledovač. Napěťové zesílení emitorového sledovače je menší než jedna; jeho přednostmi (v určitých případech) je vyšší vstupní impedance a nízká výstupní impedance. V tomto zapojení využíváme obou těchto vlastností; vyšší vstupní impedance méně zatěžuje regulátor zesílení P_1 a nízká výstupní impedance umožňuje realizovat požadavek, který jsme si pro zesilovač dali, tj. aby měl výstupní signál na nízké impedanci. Pracovní bod tranzistoru T_3 je určen poměrem odporů R_{10} a R_{11} , signál odebíráme z emitorového odporu R_{12} přes elektrolytický vazební kondenzátor C_6 . Napájecí napětí pro celý zesilovač je filtrováno elektrolytickým kondenzátorem C_8 , který má za úkol také odstranit případné nežádoucí vazby přes napájecí přívody.

Máme-li takto ujasněnou funkci zapojení, přistoupíme k volbě typů součástek. Vycházíme opět z požadavků na funkci a případně rozměry a spolehlivost zesilovače. Od daného zesilovače požadujeme dobrou spolehlivost, malý šum a stabilitu nastavení a nezáleží nám na finančních nákladech. Abychom dosáhli malého šumu, použijeme křemíkové tranzistory. Protože ještě nejsou běžné k dostání křemíkové nízkofrekvenční tranzistory řady KC..., použijeme tranzistory vysokofrekvenční. Pro všechny tři stupně zesilovače zvolíme stejný typ tranzistoru – KF506. Abychom mohli výběrem najít tranzistor s nejmenším šumem, použijeme objímky. S ohledem

na rozměry zesilovače budeme používat co nejmenší součástky, tj. miniaturní odpory na zatížení 0,05 W, elektrolytické kondenzátory do plošných spojů typu TC941 až 943. Miniaturní potenciometr P_1 typu TP180 nebude umístěn na destičce s plošnými spoji; bude s ní propojen ohebnými kablíky. K nastavení pracovního bodu prvního stupně použijeme odporový trimr WN 790 25.

Nyní si všechny součástky sepíšeme s vyznačením typu a hlavních rozměrů, potřebných pro návrh plošných spojů:

Součástka	Typ	Rozměry
R_1 M1	WN 790 25	viz obr. 17
R_2 10k	TR112	$\varnothing 2,6 \times 6,5$ mm
R_3 4k7	TR112	
R_4 1k2	TR112	
R_5 1k	TR112	
R_6 12k	TR112	
R_7 5k6	TR112	
R_8 1k2	TR112	
R_9 560	TR112	
R_{10} 39k	TR112	
R_{11} 1k	TR112	
P_1 10k	TP180	
C_1 10M/6 V	TC941	$\varnothing 5$ mm, rozteč 2,5 mm
C_2 50M/15 V	TC943	$\varnothing 13$ mm, rozteč 7,5 mm
C_3 10M/6 V	TC941	$\varnothing 5$ mm, rozteč 2,5 mm
C_4 20M/15 V	TC943	$\varnothing 13$ mm, rozteč 7,5 mm
C_5 50M/15 V	TC943	$\varnothing 13$ mm, rozteč 7,5 mm
C_6 20M/6 V	TC941	$\varnothing 7$ mm, rozteč 3,54 mm
C_7 20M/15 V	TC943	$\varnothing 13$ mm, rozteč 7,5 mm
C_8 20M/15 V	TC943	$\varnothing 13$ mm, rozteč 7,5 mm
C_9 50M/15 V	TC943	$\varnothing 13$ mm, rozteč 7,5 mm
objímka na tranzistor		viz obr. 36

Dalším krokem je určení rozměrů destičky s plošnými spoji. S ohledem na univerzální použití zesilovače a na rozměry použitých součástek zvolíme předběžné rozměry 40×120 mm. Budeme počítat s tím, že destička bude upevněna na obou delších stranách a proto na těchto stranách ponecháme volné okraje široké alespoň 4 mm.

Nyní určíme základní koncepci rozmístování součástek. Jelikož jde o poměrně běžné zapojení odporově vázaného zesilovače bez zpětných vazeb a jiných obvodů navíc, bude možné rozmístovat součástky přibližně podle jejich rozmístění ve schématu. Budeme se snažit, aby rozmístění součástek splňovalo i jisté nároky na estetičnost a budeme proto např. všechny objímky na tranzistory umísťovat na stejné ose (podobně pokud možno elektrolytické kondenzátory atd.). Odporový trimr, kterým se bude nastavovat pracovní bod prvního tranzistoru, musíme umístit tak, aby k němu byl snadný přístup. Dolní okraj destičky bude spojen se záporným pólem zdroje, horní okraj zůstane odizolován. Rozmístění součástek si kreslíme přibližně v měřítku; dostaneme obrázek 91.

Do stejného obrázku nakreslíme nejlépe jinou barvou potřebné propojení součástek. Pokud to jde, kreslíme spoje přímočaře a nesnažíme se mít zapojení „učesané“ – jde jenom o to zjistit, zda se podaří spojit všechny součástky bez křížení. Při rozmístění součástek, jaké jsme zvolili na obr. 91 se to podaří; pokud by to nevyšlo, pozměníme trochu vzájemnou polohu některých součástek.

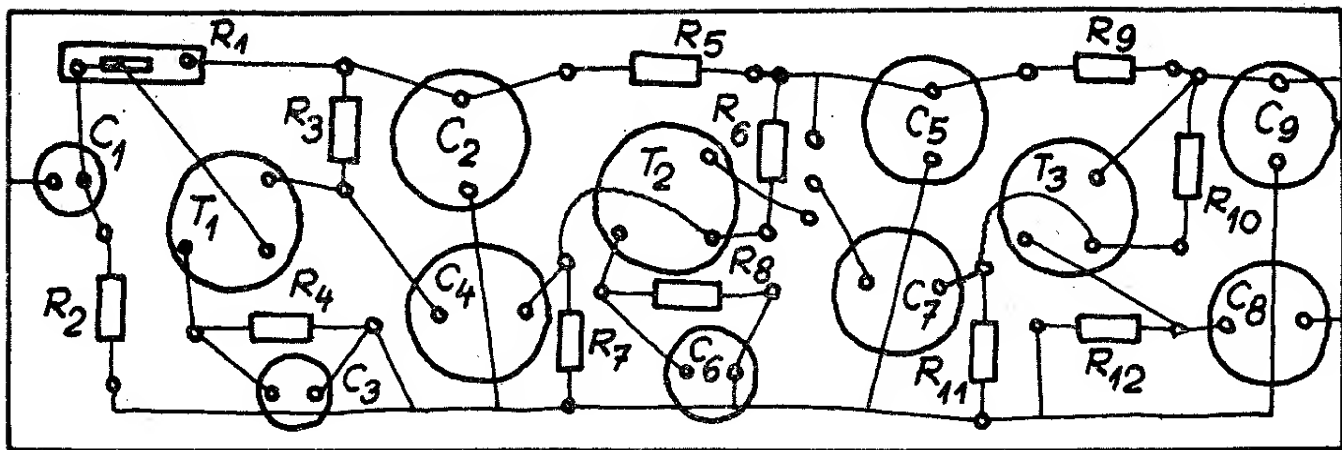
Máme-li součástky rozmístěny a pospojovány tak, že se žádné spoje nekříží, přistoupíme k definitivnímu rozmístění součástek tak, aby jejich vývody byly umístěny v průsečících čar sítě s roztečí 2,5 mm. Buď můžeme kreslit rozmístění součástek na průsvitný papír a podložit si ho podložkou se čtverečky $2,5 \times 2,5$ mm, zhotovenou jednou pro vždy, nebo si rastr těchto roztečí nakreslíme na čistý papír a polohu jednotlivých součástek zakreslujeme na něj přímo. V našem případě jsme zvolili druhý způsob (obr. 92). Vycházíme z rozměrů, které jsme si vypsalí do tabulky. U miniaturních odporů

vollíme pokud možno vzdálenost obou vývodů 12,5 mm, výjimečně 10 mm. Konstrukce roztečí pro elektrolytické kondenzátory typů TC941 až 943 je na obr. 34. Dodržujeme při tom základní zásady návrhu plošných spojů, stanovené v této kapitole (str. 23), tj. minimální vzdálenost vodivě spojených míst 2,5 mm, minimální vzdálenost elektricky nespojených míst 5 mm, minimální šířka spoje 1 mm, vzdálenost od okraje 2,5 mm, minimální mezera mezi spoji 1 mm atd.

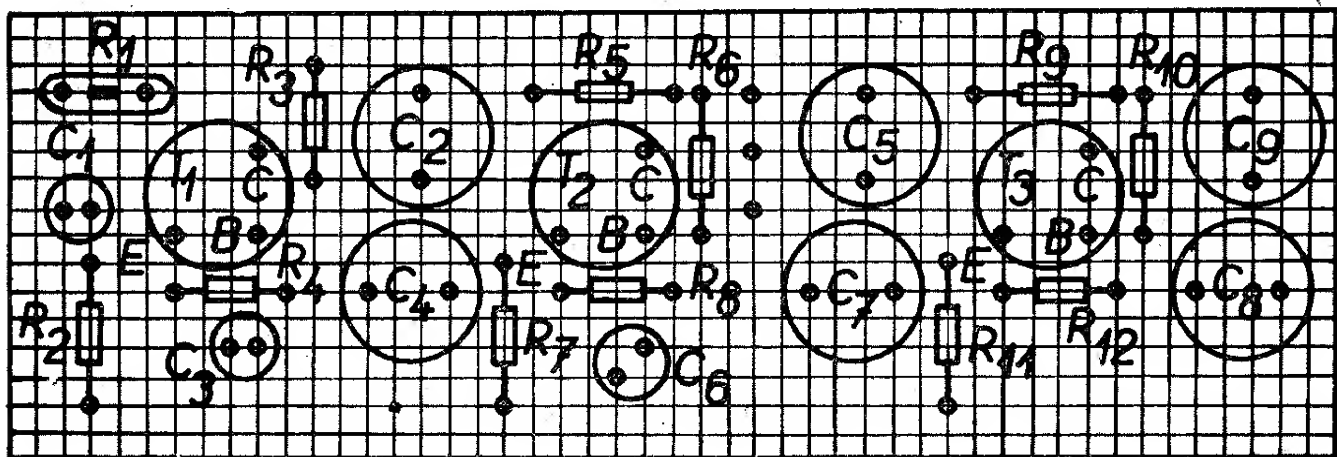
Zde je nutné poznamenat, že vzhledem ke konstrukci některých součástek nelze dodržet všechny zásady, o nichž byla v příslušném odstavci řeč. Tak např. vzdálenost dvou pájecích bodů, které nebudou elektricky spojeny, by měla být nejméně 5 mm. Těžko se to ale podaří např. u elektrolytických kondenzátorů typu TC941, které mají rozteč vývodů pouze 2,5 mm. V takových případech potom postupujeme např. tak, že pájecí bod umístíme poněkud excentricky okolo otvoru pro vývod součástky, aby mohl mít správnou velikost, aby však současně nedošlo ke zkratování obou vývodů např. kondenzátoru.

Návrhem je tedy dáno definitivní rozmístění součástek, z něhož vycházíme při návrhu obrazce plošných spojů. Ukážeme si na tomto zapojení návrh tří různých typů obrazce plošných spojů; obrazec vytvořený metodou spojových čar, obrazec vytvořený metodou dělicích čar a obrazec vytvořený kombinací obou metod.

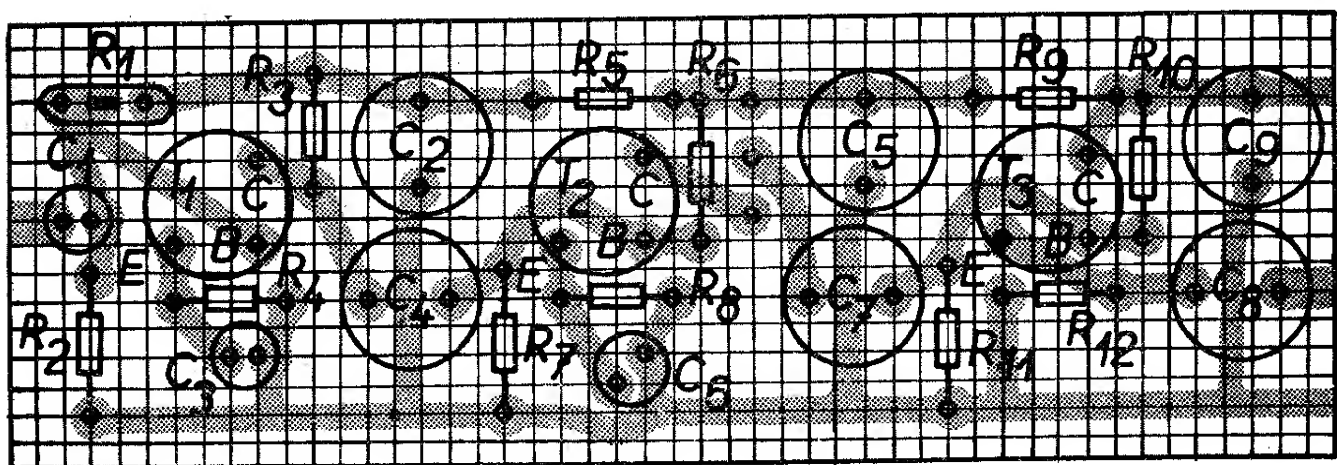
Při soustavě spojových čar prakticky pouze pospojujeme příslušné vývody součástek. Postupujeme tak, že nejdříve okolo všech otvorů pro vývody součástek nakreslíme nejlépe kružátkem pájecí body, které by měly mít nejméně dvojnásobný, lépe však trojnásobný průměr, než mají vyvrtané otvory. Kde není možné tak velký pájecí bod umístit, umístíme ho excentricky, nebo ho i zmenšíme (ale jen výjimečně, neboť záleží i na mechanické pevnosti pájecích bodů – odolnost proti odtrhu). Takto nakreslené pájecí body nyní pospojujeme spoji širokými 1,5 mm. Pokud je to možné, vedeme spoje přímočaře, kde to nejde, vytváříme obloučky, pokud možno kružátkem. Dbáme na dodržování minimální



Obr. 91. Předběžné rozmístění součástek na destičce zvolených rozměrů



Obr. 92. Definitivní rozmístění součástek



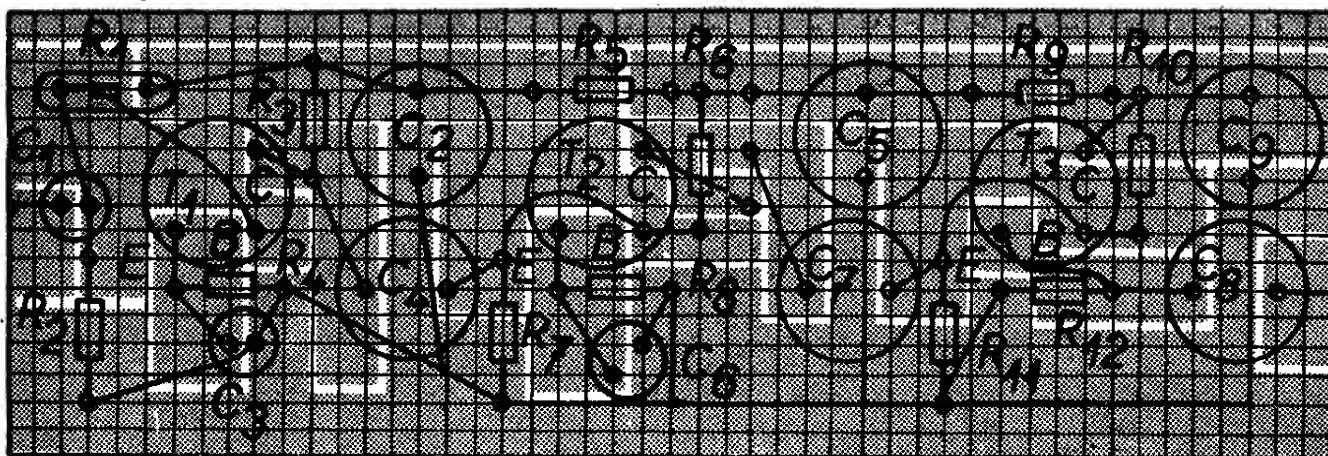
Obr. 93. Obrázec plošných spojů vytvořený soustavou spojových čar

vzdálenosti 1 mm mezi spoji; např. u kondenzátoru C_6 musíme se společným záporným pólem napájení poněkud vybočit, abychom tuto vzdálenost dodrželi. Samozřejmě není na škodu nechávat mezery mezi spoji větší. Konečný vzhled takto vytvořeného obrazce plošných spojů je na obr. 93.

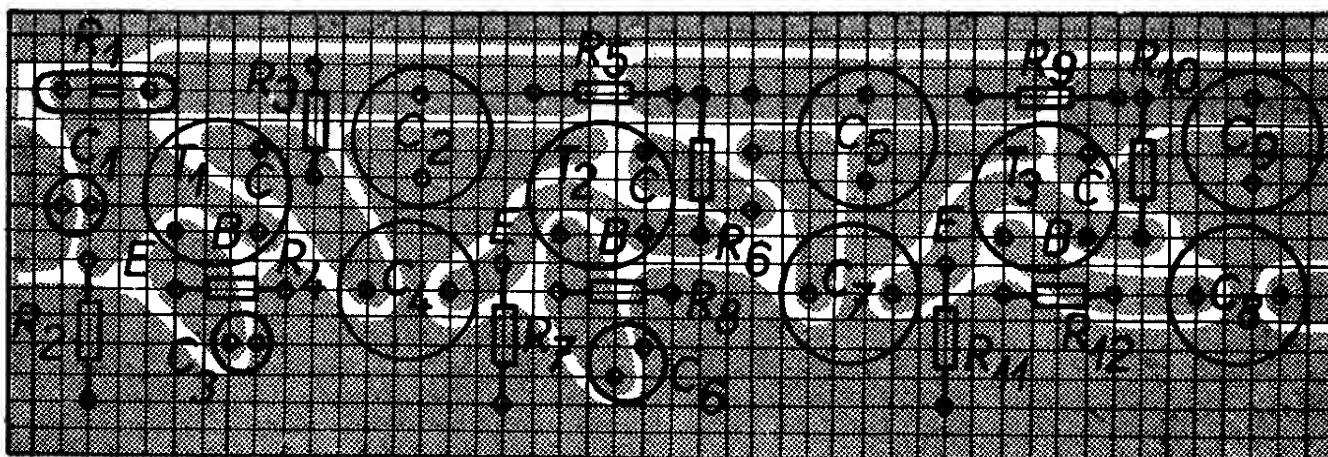
Při praktické výrobě obrazce tohoto typu – pokud jde o zhotovení jednoho kusu destičky jako prototypu – postupujeme s výhodou tak, že nejprve přeneseme na cuprexitovou destičku body, kde budou otvory pro součástky. V těchto místech uděláme důlkem důlky a potom acetonovou barvou nakreslíme na destičku obrazec plošných spojů. Držíme se při tom vyznačených důlků, takže lze

kreslit bez kopírování pouze podle předlohy. Obrazec nakreslený barvou necháme uschnout a nepokrytou (nenalakovanou) měděnou fólii potom odleptáme.

Ke stejnému rozmístění součástek nyní navrhne obrazec plošných spojů, vytvořený soustavou dělicích čar. Obrazek rozmístění součástek doplníme přímočarými spoji asi tak, jako při původním návrhu rozmístění. Potom zase nejlépe jinou barvou do tohoto obrázku kreslíme čáry, které rozdělí celou plochu destičky na jednotlivé plošky, obsahující vždy jen ty pájecí body, které mají být elektricky spojeny (obr. 94). Snažíme se při tom opět dodržet hlavní uvedené zásady (otvor pro vývod součástky by neměl být blíže než 1 mm od okraje měděné



Obr. 94. Obrazec plošných spojů vytvořený soustavou dělicích čar



Obr. 95. Obrazec plošných spojů vytvořený kombinací obou soustav

plošky, plošky obsahující vývod báze tranzistoru nebo jiné „choulostivé“ místo mají být co nejmenší, plocha spojená se záporným pólem napájení naopak zase co největší atd.). U definitivního výkresu plošných spojů ještě dbáme na to, aby dělicí čáry byly široké minimálně 1 mm.

Obrazec kreslený soustavou dělicích čar je výhodné překreslit alespoň dvakrát, protože při druhém překreslení jistě přijdeme na některá zjednodušení a upravený obrazec bude i estetičtější.

Tento druh obrazce plošných spojů přenášíme na destičku z cuprextitu (pro výrobu prototypovou) podobným postupem, jako obrazec ze spojových čar. Destičku však celou pokryjeme acetonovou barvou a žiletkou vyřežeme do barvy dělicí čáry; vzniklé proužky potom odloupneme. Leptáme opět v roztoku chloridu železitého. U menších destiček lze obrazec tohoto typu zhotovovat i pouhým mechanickým proškrabováním mezer do měděné fólie; u destičky s plošnými spoji navržené pro nf zesilovač (obr. 90) by to bylo velmi pracné.

Konečně třetí druh obrazce plošných spojů vznikne kombinací obou předchozích metod. Nejdříve v obrázku definitivního rozmístění součástek nakreslíme spojovací plošky, které pospojují příslušné pájecí body (ty nakreslíme předem stejně jako u systému spojových čar). Plošky vytváříme tak, aby byly co nejmenší, ale pokud možno ne vyduté. Zbylý povrch destičky vyplníme pokud možno souvislou plochou, spojenou se společným pólem napájení (obr. 95) – v tomto případě se záporným pólem.

Výroba prototypu tohoto obrazce je nejobtížnější – velmi těžko lze vyškraabávat dělicí čáry (protože nejsou rovné), proto volíme obvykle stejný způsob jako u systému spojových čar, přičemž musíme kreslit velmi pečlivě, aby nedošlo někde ke zkratu dvou spojů nebo ke zkratu spoje se společnou plochou.

Nejčastěji používaným způsobem je právě tento třetí způsob, neboť je přehlednější než obrazec kreslený soustavou dělicích čar a při tom se odleptává jen minimální část měděné fólie, takže výroba destičky je rychlejší a ekonomičtější než u systému spojových čar.

Jak tedy postupovat, chcete-li si zakoupit destičku s plošnými spoji ke kterémukoli návodu, uveřejněnému v časopisech Amatérské radio nebo Radiový konstruktér? Každá destička je označena třímístným znakem (až na výjimky). První je písmeno, vždy stejné pro jeden rok, tedy rok 1967 – písmeno A, rok 1968 – písmeno B, rok 1969 – písmeno C, rok 1970 – písmeno D. Vezmete tedy např. korespondenční lístek, napíšete na něj čitelně typ destičky a počet kusů, které objednáváte; dále uvedete svoji přesnou adresu. Korespondenční lístek pošlete na adresu PLOŠNÉ SPOJE (Radioklub Smaragd), poštovní schránka 116, Praha 10. Používejte výhradně této adresy, usnadníte nám práci. Některé hotové výrobky (např. osazené destičky s plošnými spoji), které náš radioklub také vyrábí, se objednávají na poštovní schránku 10, Praha 10 – nedejte se tím však mást.

Objednané destičky dostanete do 14 dnů na dobírku na adresu, kterou jste uvedli v objednávce. Pokud se někdy výjimečně stane, že se zásilka zpozdí, neurgujte ji, na nikoho nemůžeme zapomenout a každému objednané destičky pošleme.

Pro radioamatéry z Prahy se naskytá ještě jedna možnost získání destiček, vyráběných Radioklubem Smaragd. Destičky i další naše výrobky dodáváme do prodejny Radioamatér v Praze 1, Žitná ul. č. 7. Tam si můžete destičky koupit bez objednávání jako kterékoli jiné součástky.

Pro ty, kteří si chtějí postavit nějaký přístroj nebo zařízení, jehož schéma bylo v AR nebo v RK a neznají čísla destiček pro objednávku, uveřejňujeme seznam všech destiček s plošnými spoji, které dodáváme.

Literatura

[1] Benedikt, V. - Sedmidubský, J., Soutor, Z.: Plošné spoje a obvody. SNTL – Praha 1962, SVTL – Bratislava 1962.

[2] Koudela, V.: Plošné spoje. SNTL – Praha 1966.

[3] Návod k použití sítotiskových přípravků Grafolit (vydal n. p. Grafotechna).

Seznam destiček s plošnými spoji, vyráběných radioklubem Smaragd

Ozna- čení	Pro přístroj	Uve- řejněno v	Cena
A01	Mústek RLC	AR 2/67	10,—
A02	Zesilovač pro gramofon	AR 4/67	7,—
A04	Nízkofrekvenční generátor	AR 5/67	8,—
A05	Tranzistorový přijímač I	AR 5/67	5,—
A06	Tranzistorový přijímač II	AR 5/67	5,50
A07	Sací měřič	AR 6/67	5,—
A08	Destička přepínače Univerzální opravářský přístroj:	AR 7/67 RK 3/67	8,90
A09	Řiditelná část napájecího zdroje		8,70
A10	Multivibrátor a část zdroje		8,—
A11	Generátor modulovaného mř kmitočtu		8,—
A12	Sledovač signálu		8,—
A13	Měřič napětí, proudu a odporů		8,—
A14	Nf zesilovač 1 W	AR 5/67	11,70
A15	Emitorový sledovač	AR 5/67	4,30
A16	Tranzistorový voltmetr	AR 8/67	8,80
A17	Sledovač signálu	AR 9/67	7,—
A18	Sonda ke sledovači sig- nálu pro vf	AR 9/67	6,—
A19	Vysokofrekvenční gene- rátor	AR 10/67	9,—
B01	Hlasitý telefon	AR 1/68	8,—
B02	Vysílač 145 MHz	AR 1/68	42,—
B03	Tranzistorový automa- tický klíč	AR 3/68	12,—
B04	Televize na sluchátko	AR 2/68	5,50
B05	Elektronkový nf zesilovač 10,7 MHz	AR 2/68	29,—
B06	Regulátor napětí dynama	AR 3/68	18,—
B07	Regulátor napětí dynama	AR 3/68	18,—
B08	Přijímač SV	RK 1/68	29,—
B09	Přijímač VKV	RK 1/68	29,—
B10	Ladicí díl VKV	RK 1/68	8,50
B11	Mř zesilovač	RK 1/68	16,—
B12	Vysílač 27 MHz	AR 4/68	6,—
B13	Vysílač 1,8 MHz	AR 5/68	16,—
B14	Měřič tranzistorů	AR 4/68	21,—
B15	Konvertor na lišku	AR 4/68	18,—
B16	Povelový přijímač	AR 5/68	11,—
B17	Klopný obvod k B16	AR 5/68	5,—
B18	Stereofonní dekodér Tesla	AR 5/68	13,—
B19	Zesilovač voltmetru	AR 5/68	12,—

Ozna- čení	Pro přístroj	Uve- řejněno v	Cena
B21	Přijímač s integrovanými obvody	AR 7/68	25,50
B22	Zdroj k vysílači 1,8 MHz	AR 7/68	17,—
B23	Stereofonní zesilovač na sluchátka	AR 8/68	19,—
B24	Povelový přijímač RC-1	Modelář 4/68	6,—
B25	Univerzální fotorelé	AR 7/68	5,50
B26	Směšovací pult	AR 7/68	27,—
B27	Budič SSB	AR 8/68	26,50
B28	Časové relé	AR 9/68	8,50
B29	Tuner VKV	AR 9/68	21,50
B30	Elektronické zapalování	AR 9/68	17,—
B31	Tónový generátor	AR 9/68	26,—
B32	Stejnoseměrný milivolt- metr	AR 10/68	16,—
B33	Nf milivoltmetr	RK 5/69	12,20
B34	Nf milivoltmetr	RK 5/69	12,20
B35	Univerzální voltmetr s FET	RK 5/69	11,20
B36	Minipřijímač	AR 10/68	8,—
B37	Příslušenství k B36	AR 10/68	5,—
B38	Zdroj k FETmetru	AR 11/68	17,—
B39	Domácí telefon	AR 11/68	5,50
B40	FETmetr	AR 11/68	13,—
B41	Tuner VKV	AR 11/68	8,—
B42	Přijímač SV	AR 12/68	6,—
B43	Booster	AR 12/68	9,—
B44	Stabilizátor napětí	AR 12/68	16,50
B45	Měřič y_{11} a y_{12} tranzistorů FET	AR 12/68	10,50
B46	Měřič y_{12} tranzistorů FET	AR 12/68	22,—
B47	Měřič y_{21} tranzistorů FET	AR 12/68	22,—
C01	Povelový přijímač	AR 1/69	9,30
C02	Časové zařízení	AR 1/69	10,50
C03	Časové zařízení	AR 1/69	20,30
C04	Předzesilovač	AR 1/69	7,—
C05	Nf zesilovač MNF 1	AR 1/69	2,—
C06	Povelový vysílač RC-1	Modelář 2/69	12,—
C07	Zesilovač MNF 2	AR 2/69	2,—
C08	Zesilovač MNF 3	AR 2/69	2,—
C09	Booster I	AR 2/69	9,50
C10	Booster II	AR 2/69	9,50
C11	Konvertor pro FM	AR 2/69	14,—
C12	Audion MAU 1	AR 3/69	2,—

Ozna- čení	Pro přístroj	Uve- řejněno v	Cena
C13	Reflex MRF 1	AR 3/69	2,—
C14	Nf generátor MNG 1	AR 4/69	2,—
C15	Regulátor rychlosti stěračů	AR 4/69	12,—
C16	Detektor MDT 1	AR 4/69	2,—
C17	Stabilizační obvod MZD 1	AR 4/69	2,—
C18	Mezifrekvenční zesilovač MNF 1	AR 5/69	3,—
C19	Pásmová propust MPP 1	AR 5/69	2,—
C20	Mezifrekvenční zesilovač MMF 2	AR 5/69	4,—
C21	Krystalka	AR 5/69	10,60
C22	Zdroj	AR 5/69	29,50
C23	Přijímač do auta	AR 5/69	11,40
C24	Přijímač do auta	AR 5/69	8,—
C25	Přijímač do auta	AR 5/69	6,60
C26	Defektoskop	AR 5/69	7,70
C27	Synchrodyn 16	AR 5/69	4,70
C28	Synchrodyn 78	AR 5/69	15,40
C29	Univerzální měřicí přístroj	AR 6/69	49,50
C30	Stmívač s tyristorem	AR 6/69	9,50
C31	Třípovelový přijímač pro modely	AR 6/69	13,—
C32	Nízkofrekvenční koncový zesilovač MNF 4	AR 6/69	4,—
C33	Pásmový korektor MPK 1	AR 6/69	5,—
C34	Řídicí část zdroje	RK 3/69	22,50
C35	Tyristorová pojistka	RK 3/69	2,60
C36	Měřič kapacit	RK 3/69	16,80
C37	Měřič odporů	RK 3/69	8,70
C38	Zdroj	RK 3/69	17,00
C39	Nf zesilovač	RK 3/69	17,70
C40	Předzesilovač	RK 3/69	18,40
C41	Osciloskop	AR 7/69	33,—
C42	Vysílač pro modely	AR 7/69	12,—
C43	Zesilovač pro stereofonní sluchátka	AR 7/69	8,70
C44	Měníč pro holicí strojky	AR 7/69	6,—

Ozna- čení	Pro přístroj	Uve- řejněno v	Cena
C45	Univerzální zesilovač napětí	AR 8/69	2,—
C46	Univerzální destička pro cívky	AR 8/69	2,—
	Univerzální měřicí přístroj	RK 2/69	
C47	D ₁		20,60
C48	D ₂		23,50
C49	D _{2a}		7,30
C50	D ₃		20,60
C51	D ₄		20,60
C52	D ₅		21,80
C53	D _{5a}		6,50
C54	D ₆		20,60
C55	D ₇		4,50
C56	D ₈		17,80
C57	D ₉		10,20
C58	D ₁₀		14,10
C59	D ₁₁		9,40
C61	Přijímač pro VKV	AR 8/69	13,50
C62	Přijímač pro VKV mf a nf	AR 8/69	13,50
C63	Přijímač pro VKV (nf koncový stupeň)	AR 8/69	11,70
C64	Siréna I	AR 8/69	10,—
C65	Siréna II	AR 8/69	8,90
C66	Tranzistorový nf zesilovač	AR 8/69	16,60
C67	Superreakční detektor MSR 1	AR 9/69	3,—
C68	Selektivní nf zesilovač s relé MNF 5	AR 9/69	5,—
C69	Nf zesilovač s MAA125	AR 9/69	4,60
C70	Přijímač na lišku	AR 9/69	15,25
C71	Přijímač na lišku	AR 9/69	11,—
C72	Tranzistorový hudební nástroj	AR 9/69	28,50
C73	Tranzistorový hudební nástroj	AR 9/69	5,70
C74	Tranzistorový hudební nástroj	AR 9/69	11,60

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR – vydává Vydavatelství MAGNET, Praha 1, Vladislavova 26, telefon 234355-7 ● Šéfredaktor ing. František Smolík ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, tel. 223630 ● Redakční rada: K. Bartoš, ing. J. Čermák, K. Donát, ing. L. Hloušek, A. Hofhans, Z. Hradiský, ing. J. T. Hyan, K. Krbec, K. Novák, ing. O. Petráček, dr. J. Petránek, ing. J. Plzák, M. Procházka, K. Pytner, ing. J. Vackář, J. Ženíšek ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 4,50 Kčs, pololetní předplatné 13,50 Kčs, roční předplatné 27,— Kčs ● Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil MAGNET – administrace, Praha 1, Vladislavova 26. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel ● Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS-vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Dohlédací pošta 07 ● Tiskne Naše vojsko, závod 01. Na valech 1, Praha-Dejvice ● Za původnost příspěvků ručí autor. Redakce rukopis vrátí, bude-li vyžádán a bude-li připojena frankovaná obálka se zpětnou adresou ● Toto číslo vyšlo 23. prosince 1969

© Vydavatelství Magnet, Praha

sháníte pracně technickou servisní dokumentaci?

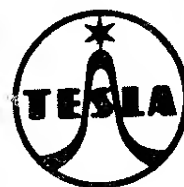
Pro velký zájem veřejnosti jsme vydali velmi žádanou technickou servisní dokumentaci ke starším typům TELEVISORŮ – až po řadu Oliver (např. 4001, 4002, Mánes, Aleš, Oravan, Lotos, Kamelie, Orchidea, Štandart, Azurit, Athos) a v omezeném množství i ke starším typům RADIOPŘIJÍMAČŮ, MAGNETOFONŮ, GRAMOFONŮ a AUTORADIÍ. K zakoupení přímo v našem středisku nebo na dobírku prostřednictvím naší zásilkové služby – na základě vaší písemné objednávky.

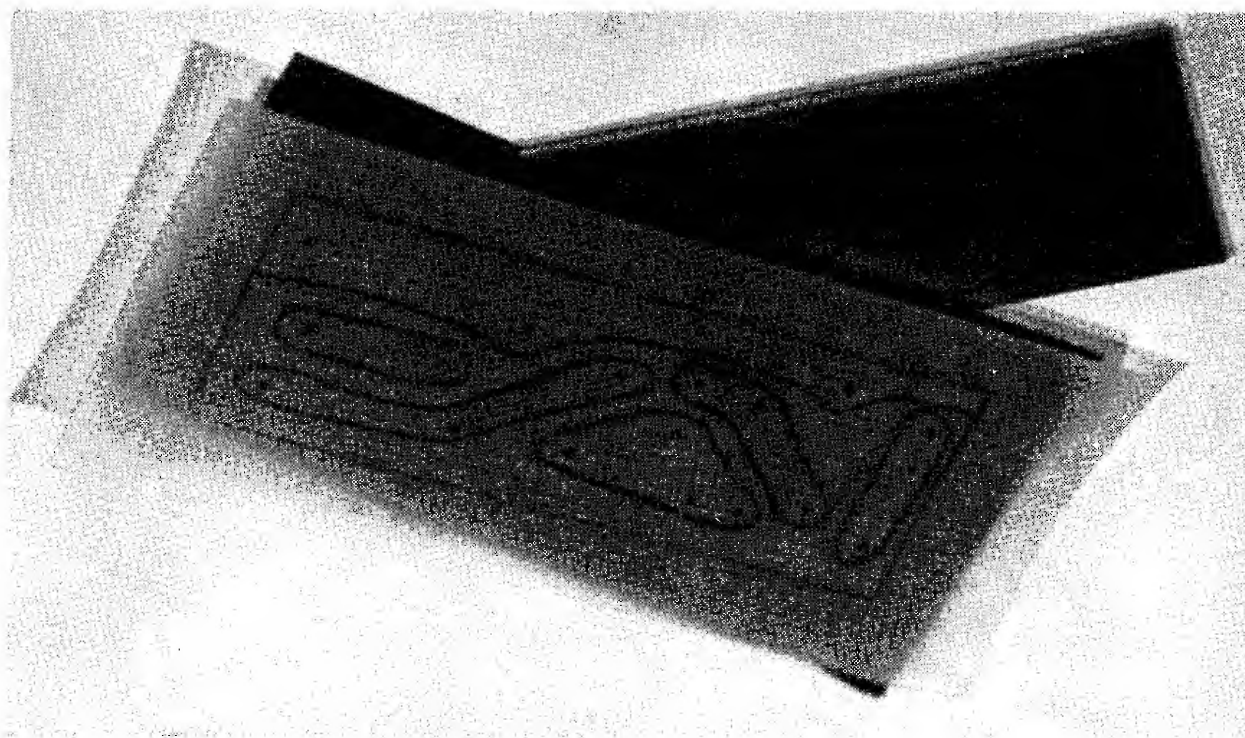
Máte-li zájem o pravidelný odběr technické dokumentace k výrobkům typické spotřební elektroniky TESLA (1 sešit asi 13,— Kčs) a stát se členem SERVIS-KLUBU TESLA, zašlete nám závaznou přihlášku s uvedením své adresy a povolání.

**STŘEDISKO TECHNICKÉ DOKUMENTACE
PRAHA 8, Sokolovská 144, telefon 822 907**

TESLA

DOBŘE VÝROBKY
DOBŘE SLUŽBY

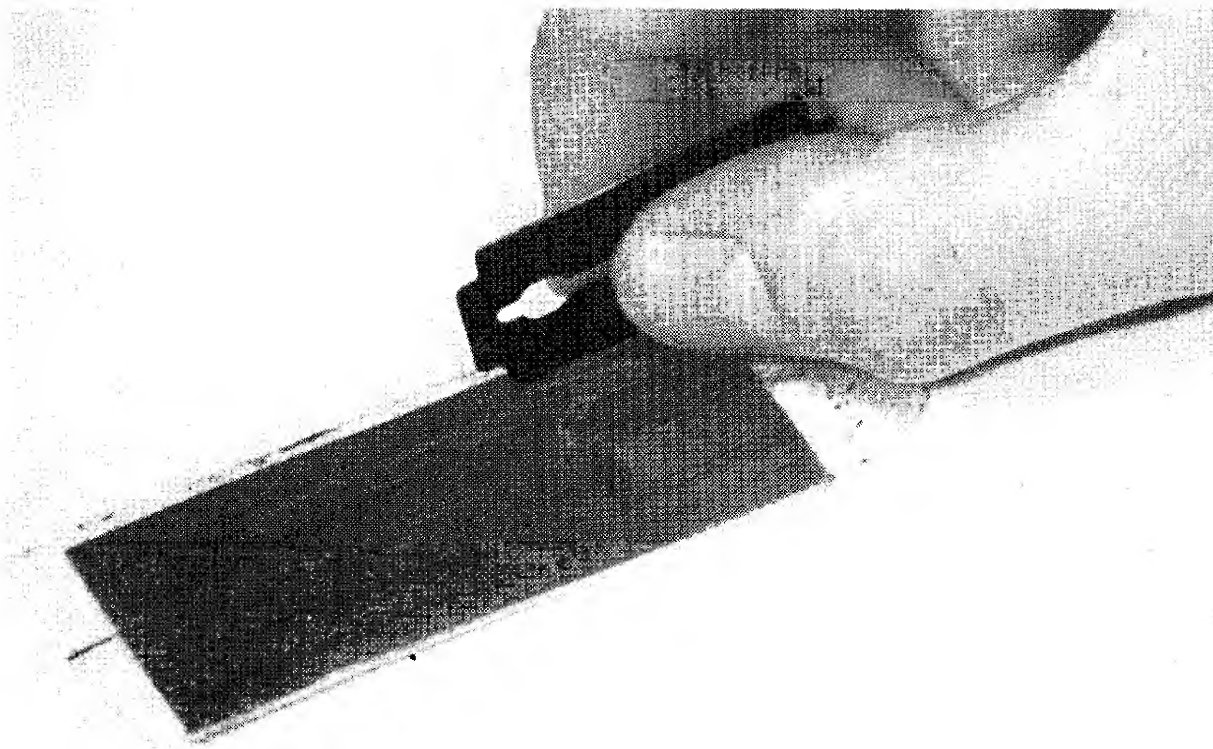




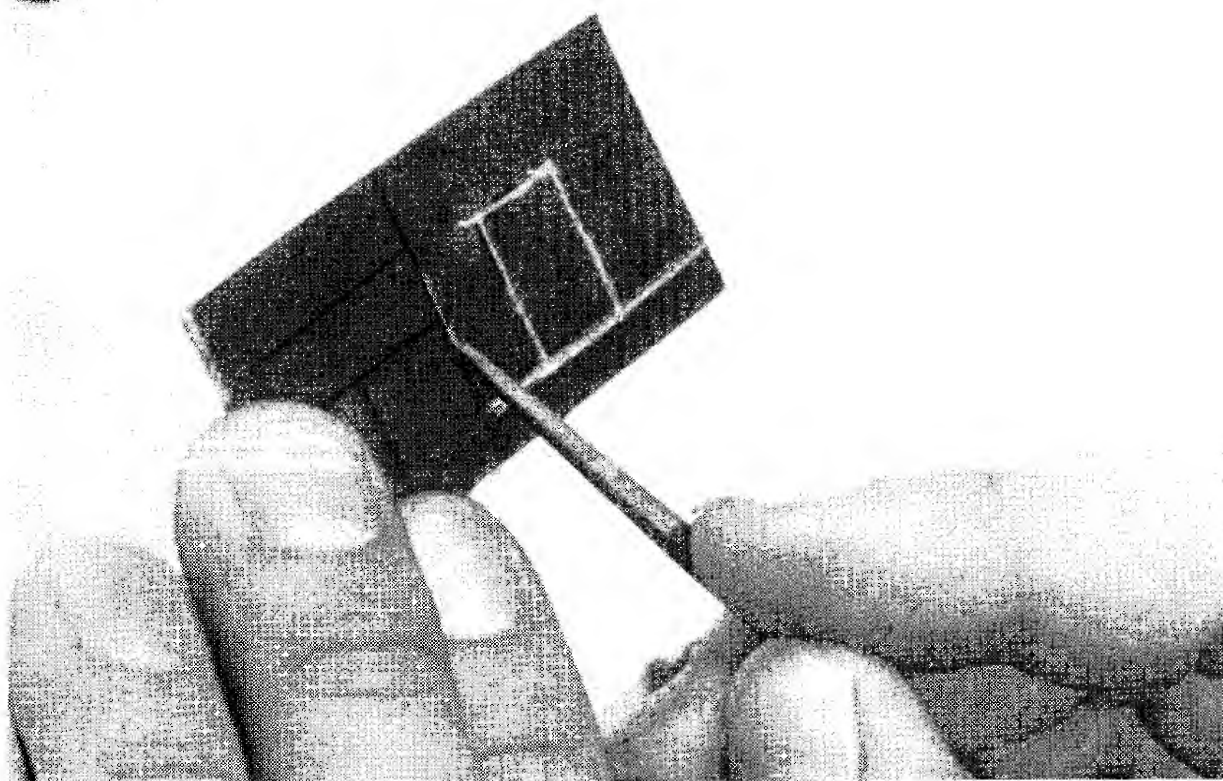
Obr. 72. Přenesení obrazce plošných spojů na cuprexit pomocí uhlového papíru při zhotovování prototypu



Obr. 73. Kreslení obrazce plošných spojů na cuprexitovou destičku acetonovou barvou



Obr. 77. Vyřezávání dělicích čar do krycí vrstvy z Izolepy



Obr. 78. Vyškrabávání dělicích čar jehlovým pilníkem



Obr. 54. Příprava klišé se základním materiálem k expozici